

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
**«Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»**

Приоритетный национальный проект «Образование»

*Посвящается 90-летию  
УГТУ-УПИ-УрФУ*

**Энерго- и ресурсосбережение.  
Энергообеспечение.  
Нетрадиционные и возобновляемые  
источники энергии**

**Сборник материалов Всероссийской студенческой  
олимпиады, научно-практической конференции и выставки  
работ студентов, аспирантов и молодых ученых  
22 - 26 ноября 2010 г.**

***Научный редактор  
профессор, д-р экон. наук Н.И. Данилов***

Екатеринбург 2010

Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 22-26 ноября 2010 г. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 440 с.

В сборник включены материалы и тезисы докладов, представленные на Всероссийской студенческой олимпиаде, научно-практической конференции и выставке. Тезисы докладов отражают широкий диапазон научно-исследовательских работ студентов, аспирантов и молодых ученых вузов России по проблемам энергосбережения, энергообеспечения, повышения эффективности использования энергетических ресурсов и создания нетрадиционных, возобновляемых источников энергии.

***Организационный комитет:***

Кокшаров В.А. (председатель оргкомитета)  
Соболев А.Б. (сопредседатель оргкомитета)  
Балдин В.Ю. (ответственный секретарь)

Попов А.А.  
Гущин О.В.  
Алехин В.Н.  
Коняев А.Ю.  
Селезнева И.С.  
Жуков А.А.  
Корелин А.В.  
Данилов Н.И.  
Щеклеин С.Е.  
Берг Б.В.  
Бегалов В.А.  
Рыжков А.Ф.  
Ярошенко Ю.Г.  
Велькин В.И.  
Гольцев В.А.  
Немихин Ю.Е.  
Раков О.А.  
Тупоногов В.Г.

Кортов С.В.  
Иваницкая Р.Л.  
Капустин Ф.Л.  
Плотников П.Н.  
Безматерных М.А.  
Май С.А.  
Малыгин В.Ю.  
Мунц В.А.  
Белоусов В.С.  
Богатова Т.Ф.  
Дубинин А.М.  
Черных И.В.  
Белоусова О.А.  
Герасимова Е.С.  
Микула В.А.  
Попов А.И.  
Толстова Ю.И.  
Усова Г.И.

Ответственные за выпуск – Балдин В.Ю., Селезнева И.С.

© ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина», 2010  
© Авторы статей, 2010

**Участникам, организаторам и гостям  
Всероссийской студенческой олимпиады,  
научно-практической конференции и  
выставки работ студентов, аспирантов и  
молодых ученых «Энерго- и  
ресурсосбережение. Нетрадиционные  
возобновляемые источники энергии»!**

*Уважаемые участники, организаторы и гости  
Всероссийской студенческой олимпиады, выставки  
и научно-практической конференции!*

Проблемы эффективного, надежного и экологически безопасного энергоснабжения приобретают все большую значимость и занимают в последние годы приоритетные позиции во внутренней и внешней политике всех без исключения больших и малых государств мирового сообщества.

В Российской Федерации, вставшей на путь коренной модернизации своего производственного и научно-технического потенциала, повышению энергоэффективности и энергосбережению придается особое значение. Указ Президента Российской Федерации Д.А. Медведева «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности экономики», Федеральные законы «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности» и «О теплоснабжении», принятые Правительством Российской Федерации Энергетическая стратегия России на период до 2030 года и Государственная программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года предопределяют **энергоэффективность** в качестве генерального направления социально-экономического развития страны в первой половине XXI-го столетия.

Успешная реализация этого стратегического вектора может осуществиться только при активном участии молодежи в технологической модернизации экономики на инновационной энергоэффективной основе. Поэтому сегодня отечественной экономике крайне необходим приток молодых высококвалифицированных инженеров и ученых с энергосберегающим мышлением, способных формируя новый экономико-технологический уклад создавать новые и оптимизировать действующие процессы производства, передачи и потребления энергии, посвятить свое творчество поиску новых источников энергии и способам эффективного его использования.

Нарастающий интерес студенчества, научной и рабочей молодежи к проблемам энергоэффективности, поиску и расширению использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и технологий их преобразования подтверждается и результатами завершившегося несколько

дней назад очередного Уральского молодежного энергетического форума «Энергетика. Россия. Человек. Стратегические приоритеты развития энергетики Свердловской области» и расширяющегося из года в год состава участников Всероссийской студенческой олимпиады, выставки и научно-практической конференции в Екатеринбурге по энерго- и ресурсосбережению.

В сфере энергосбережения сейчас очень важно учиться самим и как можно быстрее обучать других. В Свердловской области функционирует Координационный Совет по энергосбережению, который, занимаясь разработкой Региональной Программы энергосбережения и повышения энергоэффективности на период до 2020 года, наладил тесные связи с научными организациями, образовательными учреждениями и промышленниками. Успешно осуществляют научно-методическую и образовательную деятельность по повышению энергетической эффективности экономики Свердловской области и подготовке кадров Институт энергосбережения совместно с кафедрой «Энергосбережение» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

В Свердловской области все большее внимание уделяется вопросам стимулирования студентов, аспирантов и молодых ученых к творческой деятельности, в том числе участию в энерго- и ресурсосберегающих исследованиях и проектах. Творчество молодежи активно поддерживается региональными органами государственной власти и бизнесом. Функционирует молодежное Правительство, регулярно проводятся различные конкурсы, ярмарки инноваций, наиболее достойным вручаются именные стипендии. Правительство Свердловской области и в дальнейшем будет поощрять и поддерживать вооруженных современными знаниями молодые кадры, квалифицированных специалистов, в которых остро нуждаются академическая и отраслевая наука, бизнес-структуры и промышленники, и конечно государство в целом.

**Желаю всем участникам Всероссийской студенческой олимпиады, конференции и выставки плодотворной творческой работы по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики, успешной реализации в практической деятельности перспективных энергоэффективных разработок, плодотворной творческой работы и заслуженных побед!**

И.о. министра энергетики и  
жилищно-коммунального хозяйства  
Свердловской области



И.Н. Чикризov



**ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ И ИТОГИ ВСЕРОССИЙСКОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ  
ОЛИМПИАДЫ «ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»,  
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И ВЫСТАВКИ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА СТУДЕНТОВ «ЭНЕРГО- И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. НЕТРАДИЦИОННЫЕ И  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ» 2009 ГОДА**

*Балдин В.Ю., Селезнева И.С., Герасимова Е.С.*

*УрФУ*

*[ensav@mail.ustu.ru](mailto:ensav@mail.ustu.ru)*

В течение десяти лет в УГТУ-УПИ (ныне – УрФУ) проводятся Всероссийские студенческие олимпиады, научно-практические конференции, выставки научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». В этих молодежных мероприятиях за это время приняли участие свыше 2500 человек из нескольких десятков вузов России.

Организаторами мероприятий являются: зав. кафедрой «Энергосбережение», проф., д-р экон. наук Н.И.Данилов, ученый секретарь кафедры «Энергосбережение», доц. В.Ю.Балдин, зав. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», проф., д-р техн. наук В.А.Мунц, зав. кафедрой «Атомная (и возобновляемая) энергетика», проф., д-р техн. наук С.Е.Щеклеин.

**В 2009 г. соответствии с приказом Федерального агентства по образованию от 13.03.2009 г. № 254 в УГТУ-УПИ проведен III тур Всероссийской олимпиады «Энерго- и ресурсосбережение».**

**Олимпиада проводилась по двум номинациям для студентов старших курсов направлений подготовки: 140100 - Теплоэнергетика, специальностей 140104 – Промышленная теплоэнергетика (ПТЭ); 140106 – Энергообеспечение предприятий (ЭОП); и 140200 - Электроэнергетика, специальности 140202 - Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (НиВИЭ).**

В соответствии с поставленными Федеральной целевой программой развития образования на 2006-2010 годы задачами развития интеграции образования и науки, в эти же сроки проведены Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых и выставка научно-технического творчества студентов «Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

В олимпиаде участвовали **52 студента** трех специальностей, объединенные в **14 команд**, из **7 вузов России**, в организации и проведении олимпиады приняли участие также сопровождающие студентов преподаватели.

В соревнованиях по специальностям ПТЭ и ЭОП участвовало **9 команд** (по одной от **5 иногородних вузов**, а также четыре команды от двух специальностей УГТУ-УПИ). В индивидуальном конкурсе участвовало **26 студентов**.

**По итогам командных соревнований** студентов по специальностям **140104 – Промышленная теплоэнергетика (ПТЭ)** и **140106 – Энергообеспечение предприятий (ЭОП)** заняли:

**1 место – команда УГТУ-УПИ** (специальность ПТЭ, команда 2, г. Екатеринбург) в составе: Савкин Андрей Викторович, Прошин Александр Сергеевич, Будин Олег Сергеевич;

**2 место** заняла команда **ИГЭУ (г. Иваново)** в составе: Воробьев Дмитрий Владимирович, Жиров Александр Сергеевич, Чусов Александр Олегович (руководитель команды - Седов Д.В. инженер кафедры «Атомные электрические станции» ИГЭУ, победитель Всероссийской студенческой олимпиады «Энерго- и ресурсосбережение» 2008 года);

**3 место** заняла команда **ВятГУ (г. Киров)**, в составе: Бурмистров Антон Петрович, Охорзина Елена Сергеевна, Хомяков Алексей Леонидович.

**По итогам индивидуального (личного) первенства** студентов в номинации «Промышленная теплоэнергетика и Энергообеспечение предприятий»:

**1 место – занял студент ИжГТУ (г. Ижевск) Мерзляков Александр Васильевич**, он стал победителем Всероссийской студенческой олимпиады «Энерго- и ресурсосбережение» в данной номинации;

**2 место** в этой номинации занял студент **УГТУ-УПИ Савкин А.В.**;

**3 место** в данной номинации занял студент **УГТУ-УПИ Прошин А.С.**

Для студентов специальности **140202 - Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (НиВИЭ)** конкурс проводился отдельно согласно утвержденному Положению. В олимпиаде по этой специальности участвовало **5 команд**: две команды УГТУ-УПИ, а также 2 команды студентов ЧГАА (г. Челябинск) и команда ВятГУ (г. Киров). В индивидуальном конкурсе по этой специальности участвовало **27 студентов**, в том числе: 6 студентов УГТУ-УПИ, 9 студентов других вузов и 12 студентов УГТУ-УПИ вне конкурса.

**По итогам индивидуального (личного) первенства** студентов в номинации «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» заняли студенты УГТУ-УПИ:

**1 место – Филинкова Дарья Дмитриевна - победитель Всероссийской студенческой олимпиады «Энерго- и ресурсосбережение» в данной номинации;**

**2 место** в номинации НиВИЭ заняла **Барабанова Юлия Александровна** - призер в данной номинации;

**3 место** в этой номинации заняла **Усова Галина Ивановна** - также ставшая призером в данной номинации.

**По итогам командных соревнований** студентов по специальности **Ни-ВИЭ** заняли:

**1 место – команда УГТУ-УПИ (команда 1)** (г. Екатеринбург) в составе: Филинкова Д.Д., Барабанова Ю.А., Усова Г.И.;

**2 место** заняла команда **УГТУ-УПИ (команда 2)** (г. Екатеринбург) в составе: Давыдов Константин Игоревич, Лобанов Семен Владимирович, Банных Сергей Михайлович;

**3 место – команда ЧГАА (г. Челябинск)** в составе: Сойников Алексей Михайлович, Микерин Дмитрий Валерьевич, Дугин Григорий Викторович.

Все студенты и команды, занявшие призовые места, были награждены дипломами Всероссийской студенческой олимпиады, утвержденными приказом Федерального агентства по образованию от 13 марта 2009 г. № 254 «Об организации и проведении Всероссийской студенческой олимпиады в 2009 году» и дипломами оргкомитета, памятными призами-книгами, а также призами, предоставленными спонсорами мероприятий – предприятиями и организациями Свердловской области, ведущими активную работу по энергосбережению, а также администрацией города Екатеринбурга. Результаты опубликованы на сайтах УГТУ-УПИ и ГБУ Свердловской области «Институт энергосбережения».

На пленарном заседании и заседаниях четырех секций **научно-практической конференции** было заслушано **более 80 докладов** студентов и аспирантов, по результатам которых экспертной комиссией были **признаны лучшими 26 докладов**, которые также награждены дипломами оргкомитета и призами (табл. 1).

Таблица 1

Список награжденных за лучшие доклады по результатам научно-практической конференции «Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»

Поз.	Ф.И.О. докладчиков	Вуз, факультет	Название доклада
<b>Секции «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в теплоэнергетике, промышленности, строительстве, ЖКХ. Энергоэффективные технологии и оборудование в электроэнергетике и электротехнике»</b>			
1.	<b>Рудик И.И., Разгулин И.В.</b>	УГТУ–УПИ, ХтФ, ТЭФ	Энерготехнологическая переработка бурого угля разреза "Берёзовский" Канско-Ачинского угольного бассейна
2.	<b>Рыжков О. И.</b>	УГТУ–УПИ, ТЭФ	Энергетическая эффективность технологии улавливания CO <sub>2</sub>
3.	<b>Трубицын К.В., Улитин И.И.</b>	Самарский государственный технический университет	Проектирование тепловых сетей на основе математических и компьютерных моделей
4.	<b>Копытина А.О.</b>	Ивановский государственный энергетический университет	Использование нейросетей для определения точности решения задач нагрева при ГУ I и II рода
5.	<b>Иконников И. С.</b>	УГТУ–УПИ, ТЭФ	Просыпание частиц топлива через решетку колпачкового типа в топках со стационарным кипящим слоем
6.	<b>Харитонова Т.В.</b>	УГТУ–УПИ, СтФ	Энергетическая оценка архитектурных проектов современных зданий

7.	<b>Пирогов А.Н.</b>	УГТУ–УПИ, ГБУ Свердловской области «Институт энергосбережения»	Энергосбережение и микроклимат зданий
8.	<b>Бикбулатов С.Р.</b>	ГБУ СО «Институт энергосбережения», Институт экономики УрО РАН	Роль энергоэффективности и инноваций в развитии региональной экономики
9.	<b>Тихонов К.В.</b>	УГТУ–УПИ, ЗАО «Уралтехмаркет»	Повышение эффективности работы оборудования за счет применения фильтрокомпенсационных устройств
<b>Секция «Ресурсосбережение и повышение экологической эффективности»</b>			
1.	<b>Рыжкова И.В.</b>	УГТУ–УПИ, ФСМ	Безобжиговый зольный гравий для бетонов.
2.	<b>Дубровина К.А.</b>	УГТУ– УПИ, МтФ	Разработка программы для расчета теплотехнических параметров котла-утилизатора.
3.	<b>Смагина Н.В.</b>	УГТУ–УПИ, ХтФ	Применение фторорганических стимуляторов капельной конденсации в теплообменных установках
4.	<b>Тарасова С. А.</b>	Уральский государственный лесотехнический университет	Комплексные ингибиторы солеотложений и коррозии в металлургическом производстве
5.	<b>Коробейников Л.А.</b>	УГТУ–УПИ, ФСМ	Гравиеподобный наполнитель на основе дисперсных шлаков дуговых сталеплавильных печей
6.	<b>Зыбина Е.С.</b>	УГТУ–УПИ, ФСМ	Термическая активация зол ТЭС
7.	<b>Зырянова Л.А.</b>	УГТУ–УПИ, ХтФ	Интенсификация технологии получения азотной кислоты комбинированным способом
<b>Секция «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Малая энергетика»</b>			
1.	<b>Гусева О.А.</b>	Челябинская государственная агроинженерная академия	Перспектива комплексного использования Аргазинского гидроузла
2.	<b>Шелубаев М.В.</b>	Челябинская государственная агроинженерная академия	Использование ветроустановок для параллельной работы с централизованным источником питания
3.	<b>Усова Г.И.</b>	УГТУ–УПИ	Особенности пиролиза крупных частиц древесины

4.	<i>Пронин Н.В.</i>	Южно-Уральский государственный университет	Энергосберегающая технология отопления с использованием ветроэнергетических установок
5.	<i>Возмилова А. А.</i>	Южно-Уральский государственный университет	О необходимости рекламы использования возобновляемых источников энергии
6.	<i>Барабанова Ю.А.</i>	УГТУ–УПИ	Использование вторичного сырья
7.	<i>Климова В.А.</i>	УГТУ–УПИ	Хемотермический транспорт тепловой энергии, вырабатываемой на АЭС
8.	<i>Козин А.А.</i>	Южно-Уральский государственный университет	Вибрации в ветроустановках
9.	<i>Иглин П.В.</i>	Вятский государственный университет	Вихревые теплогенераторы
10.	<i>Завьялов А.С.</i>	УГТУ–УПИ	Альтернативное освещение в высотном жилом доме

**На выставке научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых**, проходившей в Государственном региональном выставочном центре в рамках Форума «Энерго-ПромЭкспо 2009» на площадях, безвозмездно предоставленных образовательным учреждениям-участникам выставки организаторами Форума «СоюзПромЭкспо», было представлено **более 100 экспонатов** от **5 вузов** и **1 техникума** уральского региона, а также ряда российских предприятий и организаций.

Экспертной комиссией были отобраны и награждены оргкомитетом 16 лучших экспонатов в 4-х номинациях:

1. Энерго- и ресурсосбережение по отраслям;
2. Технологии, материалы и оборудование в энерго- и ресурсосбережении;
3. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Малые источники энергии;
4. Образовательные программы, средства и технологии в области энерго- и ресурсосбережения.

Итоги выставки - список **16 отмеченных экспертной комиссией экспонатов** и награжденных оргкомитетом выставки представлен в табл. 2.

Таблица 2

Список студентов и аспирантов, награжденных за лучшие экспонаты, представленных на Всероссийской выставке научно-технического творчества студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение.

Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»

***Номинация «Энерго- и ресурсосбережение по отраслям»***

<b>Ф.И.О.</b>	<b>Студент или аспирант</b>	<b>Руководители</b>	<b>Вуз, факультет, кафедра</b>	<b>Экспонат</b>
Шихалев С.В., Решетников И.Ф.	Аспиранты	Ермаков С.А., Луговкин В.В.	УрГЭУ	Электрический пищеварочный котел
Акулова А.В.	Студент	Власова С.Г.	УГТУ-УПИ, ФСМ, кафедра стекла	Энергосбережение при производстве легкоплавкой эмали
Козионова Ю.В., Корелин И.Л.	Студент	Власова С.Г.	УГТУ-УПИ, ФСМ, кафедра стекла	Авантюриновое стекло для облицовочной плитки на основе местного сырья
Коробейников Л.А.	Студент	Уфимцев В.М.	УГТУ-УПИ, ФСМ, кафедра технологии вяжущих материалов и строительных изделий	Гравиеподобный заполнитель на основе шлаков дуговых сталеплавильных печей

***Номинация «Технологии, материалы и оборудование в энерго- и ресурсосбережении»***

<b>Ф.И.О.</b>	<b>Студент или аспирант</b>	<b>Руководители</b>	<b>Вуз, факультет, кафедра</b>	<b>Экспонат</b>
Ведищев Ю.Г.	Аспирант	Фоминых М.В., Купцов С.Г.	УГТУ-УПИ, МтФ, кафедра литейного производства и упрочняющих покрытий	Электроискровое легирование – восстановление и упрочнение деталей
Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э., Купцов В.К.	Коллектив авторов	Бродов Ю.М.	УГТУ-УПИ, ТЭФ, кафедра «Турбины и двигатели»	Модель трубной системы теплообменного аппарата
Беляева А.С.	Студент	Щеклеин С.Е.	УГТУ-УПИ, ТЭФ, кафедра атомной энергетики	Технология производства спирто-содержащих топлив

**Номинация «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Малая энергетика»**

<b>Ф.И.О.</b>	<b>Студент или аспирант</b>	<b>Руководители</b>	<b>Вуз, факультет, кафедра</b>	<b>Экспонат</b>
Горбунов А.В.	Молодой ученый	Гревцев Н.В.	УГГУ, кафедра электрификации горных предприятий	Разработка проектов перевода действующих котельных и генерирующих станций на местные виды биотоплива
Филинкова Д.Д.	Студент	Велькин В.И., Арбузова Е.В.	УГТУ-УПИ, ТЭФ, кафедра атомной энергетики	Энергетический потенциал отходов КРС Свердловской области
Усова Г.И.	Студент	Рыжков А.Ф.	УГТУ-УПИ, ТЭФ, кафедра атомной энергетики	Разработка технологии сжигания топливных гранул
Баронов А.Л.	Студент	Попов А.И.	УГТУ-УПИ, ТЭФ, кафедра атомной энергетики	Ветроэнергетическая установка с использованием эффекта Магнуса
Давыдов К.И., Прокопьев О.В.	Студенты	Попов А.И.	УГТУ-УПИ, ТЭФ, кафедра атомной энергетики	Шнековая и роторная миниГЭС
Попов А.В., Силин В.Е.	Молодые ученые	Рыжков А.Ф.	УГТУ-УПИ, ТЭФ, кафедра «Энергосбережение»	Установка распределенной генерации на биотопливе

**Номинация «Образовательные программы, средства и технологии в области энерго- и ресурсосбережения»**

<b>Ф.И.О.</b>	<b>Студент или аспирант</b>	<b>Руководители</b>	<b>Вуз, факультет, кафедра</b>	<b>Экспонат</b>
Петухов Д.А., Аникин В.Е., Бойков О.А.	Студенты	Федорова С.В., Чумаченко Ю.А.	РГППУ	Комплект лабораторных установок - образовательные технологии в области энергосбережения
Рыбкин М., Пелогейн С., Пьянков Ю., Томилов Д.	Студенты	Ананин В.Д.	Екатеринбургский энергетический техникум	Комплект устройств для развития научно-технического творчества студентов
Михайлишин Е.В., Толстова Ю.И.	Коллектив авторов	-	УГТУ-УПИ, СтФ, кафедра теплогазоснабжения и вентиляция	Энергосбережение в строительстве – комплект учебно-методических материалов

Организаторы Форума «Энерго-ПромЭкспо 2009» также наградили **Золотыми медалями** и дипломами **6 представленных на выставке экспонатов** вузов, в том числе - 4 работы студентов трех факультетов УГТУ-УПИ (табл. 3).

Таблица 3

Список участников выставки, награжденных Золотыми медалями и дипломами  
Форума «Энерго-ПромЭкспо 2009»

Ф.И.О.	Факультет	Наименование работы	Руководитель
Петров И.С., Ураков К.М.	Студенты электро- технического фа- культета УГТУ-УПИ	Многофункциональный плавильный агрегат	Сарапулов Ф.Н.
Пономаренко А.А., Селезнева А.Ю., Зыбина Е.С.	Аспирант и студенты факультета строи- тельного материало- ведения УГТУ-УПИ	Комплекс работ по технологии получения новых вяжущих ве- ществ с использовани- ем отходов промыш- ленности	Капустин Ф.Л., Ге- расимова Е.С.
Баннх С.М.	Студент теплоэнерге- тического факультета УГТУ-УПИ	Энергосбережение при освещении зданий	Велькин В.И.
Чекулова Д.В.	Студентка тепло- энергетического фа- культета УГТУ-УПИ	Ветроэнергетическая установка с вертикаль- ным ротором (Дель- фин)	Попов А.И.
Коллектив авторов	Кафедра «Энергосбе- режение» теплоэнер- гетического факуль- тета УГТУ-УПИ	Комплекс учебно- методических материа- лов по энергосбереже- нию	Данилов Н.И.
Коллектив авторов	Кафедра «Турбины и двигатели» тепло- энергетического фа- культета УГТУ-УПИ	Комплекс учебных и справочных изданий	Бродов Ю.М.

Всего в этих молодежных мероприятиях в 2009 г. участвовало **более 250 студентов и аспирантов**, а также **более 35 преподавателей и сотрудников 17 вузов России**. Материалы олимпиады, конференции и выставки, отражены в изданном **сборнике**, включающем тезисы более **215 докладов на 536 страницах** (большую работу по редактированию и подготовке тезисов докладов к публикации проводят доцент кафедры «Энергосбережение» И.С. Селезнева и специалист своего дела Г.Н. Мизгулина).

Считаем, что проведение таких мероприятий необходимо организовывать и в дальнейшем, так как они оказывают положительное влияние на формирование энергетического мировоззрения, результативного личностно-ориентированного обучения в вузе, способствует развитию учебно-научной познавательной деятельности студентов и аспирантов, направлены на решение сложных задач, стоящих перед высшим образованием – повысить качество обучения и образованности, способствовать росту профессионального мастерства, развитию научно-практического мышления и научно-образовательной культуры студентов, аспирантов, молодых ученых в такой важной сфере как энерго- и ресурсосбережение.



# ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГНОЗНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ БАЛАНСОВ

Бикбулатов С.Р., Данилов Н.И., Попов В.Ю.  
ГБУ Свердловской области «Институт энергосбережения», УрФУ  
e-mail: [ines@ines-ur.ru](mailto:ines@ines-ur.ru)

На федеральном уровне необходимость формирования топливно-энергетического баланса (ТЭБ) осознана и впервые в правовом поле эта тема звучит в федеральном закона от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении» [1], с позиции которого топливно-энергетический баланс – документ, содержащий взаимосвязанные показатели количественного соответствия *поставок* энергетических ресурсов на территорию субъекта Российской Федерации или муниципального образования *и их потребления*, устанавливающий распределение энергетических ресурсов между системами снабжения, потребителями, группами потребителей и, самое основное, *позволяющий определить эффективность использования* энергетических ресурсов.

В данном законе федеральные органы исполнительной власти, уполномоченные осуществлять реализацию государственной политики в сфере теплоснабжения, наделяются полномочиями по утверждению порядка составления ТЭБ субъектами РФ [2] и муниципальными образованиями, а органы местного самоуправления поселений, городских округов и органы исполнительной власти субъектов РФ составляют ТЭБ соответственно поселений, городских округов и субъектов РФ в порядке и по форме, утвержденными федеральными органами исполнительной власти.

Для формирования прогнозных ТЭБ по Свердловской области ГБУ СО «ИнЭС» совместно с Институтом экономики УрО РАН разработана экономикоматематическая модель, методология которой основана на принципах взаимосогласованного развития системы «энергетика в экономике» [3]. Методические инструменты расчета используют идеи и подходы Минпромэнерго РФ, Института энергетических исследований РАН и современные разработки российских и зарубежных исследователей.

Разработанная модель предусматривает:

- сценарный подход,
- рациональную детализацию потребления ТЭР,
- учет показателей корпоративных и территориальных программ,
- интерактивные методы уточнения вариантов,
- автоматизированные рекурсивные процедуры, позволяющие использовать экспертные оценки,
- возможность гибкой и детальной корректировки частных балансов и показателей,
- возможность расширения показателей качества ТЭБ, в том числе - целевых показателей и др.

С формальных позиций эта модель по своим характеристикам близка к классу широко используемых в экономических исследованиях имитационных

моделей, обладающих широкими возможностями адаптации к целям социально-экономического развития. По своей структуре и математической форме эта модель может быть охарактеризована условным названием – «динамический баланс балансов», в котором сочетаются межпродуктовые балансы с балансами потребления отдельных видов ТЭР. Динамика в модели отражается дискретно, через выделенные интервалы периода прогноза. Темпы энергоемкости и темпы объемов производства определяются с использованием эконометрических расчетов и экспертных оценок. Последние позволяют учесть в сценариях возможные изменения ретроспективных тенденций.

Ядром модели являются оценка укрупненного спроса на ТЭР и его детализация. Математически его можно описать следующими соотношениями:

- потребности в ТЭР по видам продукции

$$y_{it} = y_i^{\bar{baz}} q_{it}, i \in \overline{1, m}; t \in \{2010; 2015\}$$

$y_i^{\bar{baz}}$ ,  $y_{it}$  – объемы продукции базового и прогнозного года;  $q_{it}$  – сценарные индексы изменения объемов к базовому году;  $t$  – прогнозный год;

- спрос на электроэнергию, теплоэнергию и топливо в базовом году

$$A_{i1}^{\bar{baz}} = a_{i1}^{\bar{baz}} y_i^{\bar{baz}}, A_{i2}^{\bar{baz}} = a_{i2}^{\bar{baz}} y_i^{\bar{baz}}, A_{if}^{\bar{baz}} = a_{if}^{\bar{baz}} y_i^{\bar{baz}};$$

- структура спроса на топливо и ее базовые пропорции

$$A_{ij}^{\bar{baz}} = a_{ij}^{\bar{baz}} y_i^{\bar{baz}}, \lambda_{ij} = \frac{A_{ij}^{\bar{baz}}}{A_{if}^{\bar{baz}}}; j \in \overline{3, n}; i \in \overline{1, m};$$

- перспективная энергоемкость продукции

$$a_{i1t} = a_{i1}^{\bar{baz}} r_{i1t}, a_{i2t} = a_{i2}^{\bar{baz}} r_{i2t}, a_{ift} = a_{if}^{\bar{baz}} r_{ift}, i \in \overline{1, m}; t \in \{2010; 2015\}$$

- сценарный спрос на ТЭР по видам продукции и его детализация

$$A_{i1t} = a_{i1t} y_{it}, A_{i2t} = a_{i2t} y_{it}; A_{ift} = a_{ift} y_{it}; A_{ijt} = a_{ijt} y_{it} = A_{ift} \lambda_{ij};$$

$$j \in \overline{3, n}; i \in \overline{1, m}; t \in \{2010; 2015\}$$

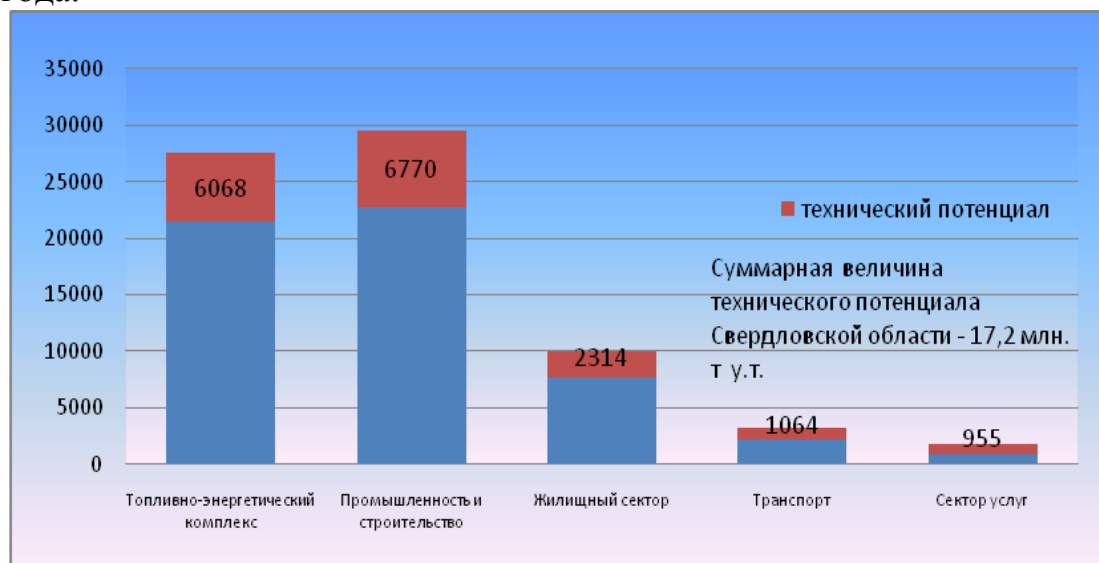
Модель дополнена эконометрическим блоком, блоком визуализации результатов прогноза, автоматической выдачей аналитической информации, характеризующей ТЭБ.

В качестве возможных направлений развития применяемой методики расчетов рассматриваются:

- развитие средств анализа надежности ТЭБ в целом и его отдельных блоков;
- формирование инструментальной поддержки учета показателей энергопотребления, предусмотренных в корпоративных программах;
- расширение возможностей корректного применения эконометрических методов для формирования сценарных параметров ТЭБ.

При подготовке региональной Программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности Свердловской области на 2010-2015 годы и целевых установках на период до 2020 года, сформирован топливно-энергетический баланс экономики региона за 2008 год и выполнен прогноз потребления ТЭР на 2015 и 2020 годы, который позволил оценить потенциал

энергосбережения (рисунок) и условия, при которых этот потенциал будет реализован. Данный прогноз рекомендован к использованию при разработке Стратегии развития топливно-энергетического комплекса Свердловской области до 2020 года.



Годовые объемы потребления топлива и энергии Свердловской области и потенциал энергосбережения до 2015 года

#### *Библиографический список*

1. Федеральный закон от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении».
2. Постановление Правительства Свердловской области от 9 августа 2010 года № 1174-ПП «О прогнозе социально-экономического развития Свердловской области на 2011-2013 годы».
3. Шелобаев С.И. Математические методы и модели в экономике, в финансах, в бизнесе. М.: ЮНИТИ, 2001. С. 144-180.

### **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА КАСКАДОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ НА ТРАНЗИСТОРАХ**

*Аликин И.В., Моксяков Д.А., Сенокосов М.С., Лобунец О.Д.*  
 УрФУ  
 e-mail: [heat@r66.ru](mailto:heat@r66.ru)

Усилители на транзисторах широко применяются в технике. От качества их работы зависят многие технические характеристики машин, аппаратов и средств автоматизации. В свою очередь качественные показатели усилителей определены, в том числе, точностью их расчета. Вместе с тем применяемые в настоящее время в известной учебной литературе методики графоаналитического расчета усилителей часто не отвечают требованию точности. Кроме того, графические (графоаналитические) методы в условиях широкого применения вычислительной техники имеют большую трудоемкость и просто морально устарели. Возникновение данных обстоятельств особенно нежелательно при расчете измерительных усилителей, от качества расчета которых зависят технико-

экономические характеристики многих устройств и систем контроля и управления.

Задача расчета усилителей обычно сводится к тому, чтобы по заданным параметрам источников входных сигналов и нагрузки, а, иногда, источников напряжения питания и, возможно, другим исходным данным определить типы транзисторов, схемы их включения и режимы работы. Режимы работы транзисторов, в свою очередь, определены положениями рабочих точек покоя на пространстве семейств выходных и входной их характеристик. Поэтому задача расчета, после определения числа каскадов усилителей и типов транзисторов, используемых в них, часто сводится, кроме определения параметров нагрузочных элементов каскадов, к вычислению значений сопротивления резисторных делителей напряжения на входах транзисторов.

Рабочие точки покоя транзисторов в графоаналитическом методе часто определяют известным способом расчета последовательной цепи, состоящей из нелинейного и линейного элемента, используя семейство выходных вольтамперных характеристик  $I_k(U_k)$  выбранного транзистора и зеркальное отображение вольтамперной характеристики линейного резистора нагрузки (нагрузочную прямую). При этом рабочая точка обычно находится на пересечении нагрузочной прямой и некоторой «средней» выходной вольтамперной характеристики транзистора. Далее расчет каскада состоит в том, что выбранная рабочая точка проецируется на переходную характеристику транзистора  $I_k(I_b)$ , а точка пересечения этой проекции с переходной характеристикой – на входную вольтамперную характеристику транзистора  $I_b(U_{эб})$ . Найденное таким образом напряжение на база-эмиттерном переходе транзистора является исходным при расчете входного делителя напряжения транзистора.

Правильность расчета проверяют путем определения временной зависимости выходного сигнала от аналогичной зависимости входного, ось времени которого совмещают с точкой покоя транзистора на входной его характеристике, в обратном порядке. При отсутствии существенных нелинейностей, например, насыщений и (или) отсечек транзистора или других имеющих значение искажений расчет заканчивают, а в противном случае – повторяют при измененных входных данных, использованных при расчете каскада. При расчете каскадов измерительных усилителей эту работу необходимо проводить особо тщательно и, часто, многократно. Данное обстоятельство существенно увеличивает актуальность применения для подобных расчетов вычислительной техники.

Разработанная программа расчета состоит из названия, из блока перечисления констант и переменных, из блоков определения точки покоя и вычисления параметров элементов каскадов, реализующих описанный алгоритм расчета, и блока проверки результатов вычислений в соответствии с техническим заданием.

С целью формализации процесса расчета, необходимой для получения возможности использования вычислительной техники, зависимости семейства выходных характеристик аппроксимированы с помощью тригонометрической функции гиперболического тангенса вида  $\alpha \cdot \text{th } \beta$ , зависимость переходной и

входной характеристики транзистора – с помощью линейной зависимости вида  $a + b \cdot x$ . В уточненном варианте программы расчета каскадов входная характеристика аппроксимирована с помощью квадратичной зависимости.

Проводится работа по созданию анимационного варианта данной программы, с целью повышения ее обучающих свойств.

Работа над созданием программы проведена в рамках выполнения контрольной работы по дисциплине «Электроника» студентов 4-го курса механико-машиностроительного факультета УрФУ, показала свою эффективность и, на наш взгляд, может быть применена для практического использования при расчетах каскадов усилителей и для использования в процессе обучения студентов в вузе.

## **МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В КОТТЕДЖНОМ ПОСЕЛКЕ**

*Афанасьев К.Ю.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*E-mail: [afalina1@sibmail.com](mailto:afalina1@sibmail.com)*

Комплексная застройка сегодня – безусловно, основное направление в развитии города Томска. Однако не надо забывать и о частном секторе, который в последнее время начинает развиваться более активно. За последние 2 года появились и начали реализовываться проекты по строительству коттеджных поселков в Академгородке, мкр. Наука и на левобережье реки Томи.

С появлением данных проектов всерьез встал вопрос о выборе наиболее оптимальных методов теплоснабжения для частных коттеджей. Учитывая отсутствие, на данный момент, газификации в этих районах, рассматривается возможность применения тепловых насосов или электродкотлов с аккумуляционной системой теплоснабжения индивидуальных домов.

В Томской области, как и в большинстве регионов России актуальна проблема снижения суточной неравномерности потребления электрической энергии. Особенно актуально это стало после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС. С целью снижения неравномерности возможно введение двухставочного тарифа на электроэнергию. При этом выгодно станет применение аккумуляторов теплоты со встроенным теплообменником для теплоснабжения коттеджей. Благодаря высокой теплоте фазового перехода при температуре  $+45...+65$  °С, парафин, наполняющий аккумулятор теплоты, позволяет в системах теплоснабжения накапливать на  $1 \text{ м}^3$  рабочего объема до  $60...65 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$  тепловой энергии.

Этого количества теплоты достаточно для снижения пиковых нагрузок в системах отопления и горячего водоснабжения современного жилого дома площадью  $100 \text{ м}^2$ .

Горячая вода от электродкотла с температурой  $+80...+85$  °С поступает в змеевиковый теплообменник аккумулятора, нагревает массу парафина и расплавляет его при температуре  $+52$  °С.

В дальнейшем температура жидкого парафина повышается до  $75^{\circ}\text{C}$ . Стальной армированный каркас увеличивает «эффективную» теплопроводность в объеме аккумулятора, интенсифицирует теплообмен и позволяет сократить поверхность теплообменника.

Зарядка аккумулятора (плавление парафина) осуществляется в ночной период за 8 часов. Теплообменник, с помощью которого осуществляется зарядка аккумулятора, используется для теплоснабжения системы отопления в дневное время. Второй теплообменник, размещенный в аккумуляторе, используется для горячего водоснабжения по независимой схеме.

Проанализируем эффективность использования теплоаккумулятора на примере теплоснабжения дома с отапливаемой площадью  $100\text{ м}^2$ , рассчитанного на трех жителей при следующих исходных данных:

- расчетная удельная нагрузка на отопление с учетом внутренних тепловыделений  $40\text{ Вт/м}^2$  при наружной температуре воздуха  $-17^{\circ}\text{C}$ ;
- расчетный расход горячей воды на одного жителя при температуре  $50^{\circ}\text{C}$  равен  $100\text{ л/сут.}$

При этих условиях нагрузки на систему теплоснабжения дома составляют:

- на отопление –  $96\text{ кВт}\cdot\text{ч/сут.}$ ;
- на ГВС –  $15,35\text{ кВт}\cdot\text{ч/сут.}$ ;
- общая –  $111,35\text{ кВт}\cdot\text{ч/сут.}$

Теплоаккумулятор позволит значительно снизить дневное потребление электроэнергии на теплоснабжение и сократить примерно в 3 раза расходы на оплату электроэнергии. Сроки окупаемости дополнительных затрат на теплоаккумуляторы 3...4 года.

Также необходимо отметить повышение надежности за счет более чем 1,5-кратного запаса тепловой мощности. При необходимости может быть обеспечена параллельная работа аккумулятора теплоты и котла.

Низкопотенциальные технологии, основанные на использовании тепловых насосов, также могут получить распространение в частном жилом секторе нашей страны. Так, в средней полосе России двухэтажный коттедж площадью  $100\text{ м}^2$  за год получает от солнца более  $160\text{ МВт}\cdot\text{ч}$  энергии, что превышает всю его годовую потребность. Эта энергия накапливается землей и легко может быть получена обратно теплообменниками теплового насоса. Электрическая энергия затрачивается только на перекачивание жидкости.

Данные системы получили широкое распространение в США, Канаде, Германии и странах Скандинавии. В нашей стране эти технологии реализованы в многоэтажном жилом здании в Москве в Микрорайоне Никулино-2, в сельской школе в Ярославской области.

В качестве примера можно рассмотреть реализацию системы отопления на базе теплонасосных установок в коттеджном поселке в Подмосковье.

Тепловой насос работает тем эффективнее, чем меньше разница между температурами испарителя и конденсатора, то есть температурой источника низкопотенциальной тепловой энергии и температурой потребителя. Таким образом, наиболее эффективно теплонасосные установки для отопления могут

применяться в системах, отличительной чертой которых является относительно невысокая температура теплоносителя. Этим требованиям соответствуют системы отопления на основе напольных отопительных панелей. Такое решение – комбинация теплонасосных установок с «теплыми полами» - часто применяется и в зарубежной строительной практики.

В комбинированных системах, используемых как для тепло-, так и для холодоснабжения, температурный режим грунтового массива поддерживается естественным образом: в зимнее время, когда требуется теплоснабжение, происходит охлаждение грунтового массива, а в летнее, когда требуется холодоснабжение, происходит, наоборот, нагрев грунтового массива, то есть в данном случае грунтовой массив можно рассматривать как своеобразный аккумулятор тепловой энергии.

Теплоноситель подогревается посредством теплового насоса до температуры  $+54^{\circ}\text{C}$ . Именно такая температура поддерживается в баке-аккумуляторе. Требуемая в контуре напольного отопления температура напольного отопления  $+36^{\circ}\text{C}$  устанавливается за счет подмеса обратного теплоносителя. Тепловой насос работает не постоянно: он включается в работу в случае, когда температура теплоносителя в баке-аккумуляторе падает ниже определенного значения. По расчетам, в начале отопительного сезона коэффициент преобразования должен составлять 5, а к концу, по мере захлаживания грунта, опускаться до 4.

При отсутствии газификации в коттеджных поселках или неоправданно высокой стоимости за подключение к газовым сетям использование теплонасосных установок или электрокотлов с аккумуляционной системой теплоснабжения являются наиболее оптимальными.

#### *Библиографический список*

1. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: монография. М.: Изд. дом «Граница», 2006. 176 с.
2. Данилин В.Н. Физическая химия тепловых аккумуляторов: учеб. пособие. Краснодар: Изд-во КПИ, 1981.
3. Сотников О.А., Турбин В.С. Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения // АВОК. 2003. № 5.

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАБОТЕ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ГРАФИКУ**

*Баев В.Р., Суворов Д.М.*

*Вятский государственный университет, г. Киров*

*e-mail: [dmilar@mail.ru](mailto:dmilar@mail.ru)*

Мощностей существующих ТЭЦ уже сейчас достаточно для существенного увеличения отпуска тепла от них при подключении новых тепловых районов, а также при замещении нагрузок котельных, когда расстояние до снабжаемых ими районов не очень велико.

Целью работы является оценка эффективности подключения дополнительной тепловой нагрузки в сетевой воде к ТЭЦ, работающих по электрическому графику и имеющих турбины со сверхвысокими начальными параметрами пара (85 % всех ТЭЦ общего пользования в России).

Расчет турбин типа Т-185 и Т-50 производится с помощью полных и адекватных математических моделей, выполненных сотрудниками ВятГУ Е.И. Эфросом и В.М. Суших. При этом принимается, что турбины работают при штатном состоянии системы регенерации на номинальном давлении  $p_0=12,7$  МПа, температура свежего пара  $t_0=555$  °С. В зависимости от заданной электрической и тепловой нагрузок, расходов сетевой воды и температуры обратной сетевой воды регулирование происходит за счет изменения степени открытия регулирующей диафрагмы  $H_{рд}$ . Таким образом, в каждом рассчитываемом режиме возрастает суммарная отопительная нагрузка и расход сетевой воды при неизменной электрической нагрузке и постоянных температурах прямой и обратной сетевой воды.

Содержанием данного этапа исследования является определение изменения величины производной удельного расхода теплоты на турбоустановку на получение дополнительной тепловой энергии  $q\dot{r}_{доп}$ , при подключении к ТЭЦ новых тепловых потребителей, определяемой как отношение изменения расхода теплоты на турбоустановку к приросту тепловой нагрузки при минимальной величине последнего параметра (0,1...1,0 МВт).

Выбранные режимы работы производятся с изменением степени открытия регулирующей диафрагмы части низкого давления (ЧНД) при значениях электрической мощности, температур и расхода сетевой воды, характерных для максимально широкого диапазона их изменения при работе по электрическому графику. Для турбины Т-185-130 это значения электрической мощности  $N_э = 130, 150, 170$  МВт, расход сетевой воды  $W_{св} = 500...1500$  кг/с, для турбины Т-50-130 значения электрической мощности  $N_э = 40...55$  МВт, расход сетевой воды  $W_{св} = 300...800$  кг/с. Для обеих турбин значения температуры обратной сетевой воды  $t_2$  варьировались в диапазоне от 40 до 65 °С, что практически охватывает весь годовой диапазон, характерный для городских ТЭЦ в современных условиях при работе по электрическому графику.

При прикрытии регулирующей диафрагмы (уменьшение величины  $H_{рд}$ ) увеличивается расход пара в отопительные отборы, обеспечивая заданный прирост отопительной нагрузки, расход пара в конденсатор уменьшается и снижаются потери в конденсаторе, расход пара на турбину увеличивается для компенсации снижения мощности ЧНД, что приводит к росту расхода теплоты на турбоустановку. Резкое понижение  $q\dot{r}_{доп}$  происходит, как правило, при  $H_{рд}$  менее 40 % за счет меньшего снижения мощности ЧНД на единицу уменьшения расхода пара в конденсатор при работе в режимах, близких к вентиляционным, и, следовательно, требуется меньшая компенсация этого снижения путем увеличения расхода пара на турбину.



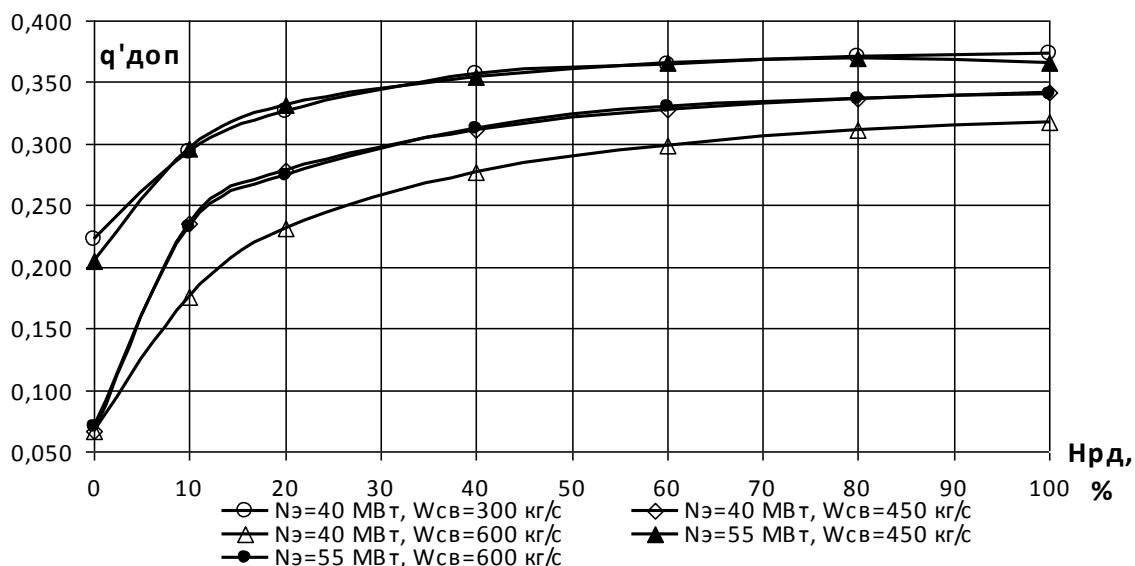


Рис. 1. Зависимость  $q'_{\text{доп}}$  от  $H_{\text{рд}}$  для турбоустановки Т-50-130 при температуре  $\tau_2 = 50^\circ\text{C}$  и указанных значениях электрической мощности  $N_{\text{э}}$  и расхода сетевой воды  $W_{\text{св}}$

Следует отметить, что снижение величины  $q'_{\text{доп}}$  за счет прикрытия регулирующей диафрагмы при определенных сочетаниях параметров сетевой воды может быть ограничено предельными значениями давления в верхнем отборе, а также предельным значением расхода пара на турбину.

Некоторые результаты расчетов представлены на рис. 1 (для турбины Т-50-130) и рис. 2 (для турбины Т-185-130). Результаты расчетов по величине  $q'_{\text{доп}}$  для иных значений расходов сетевой воды и ее начальной температуры находятся в том же диапазоне, не превышая значения 0,4, что соответствует экономии топлива не менее 60 % по сравнению с подключением той же нагрузки к отопительным котельным (местным или районным) или к автономным теплогенераторам.

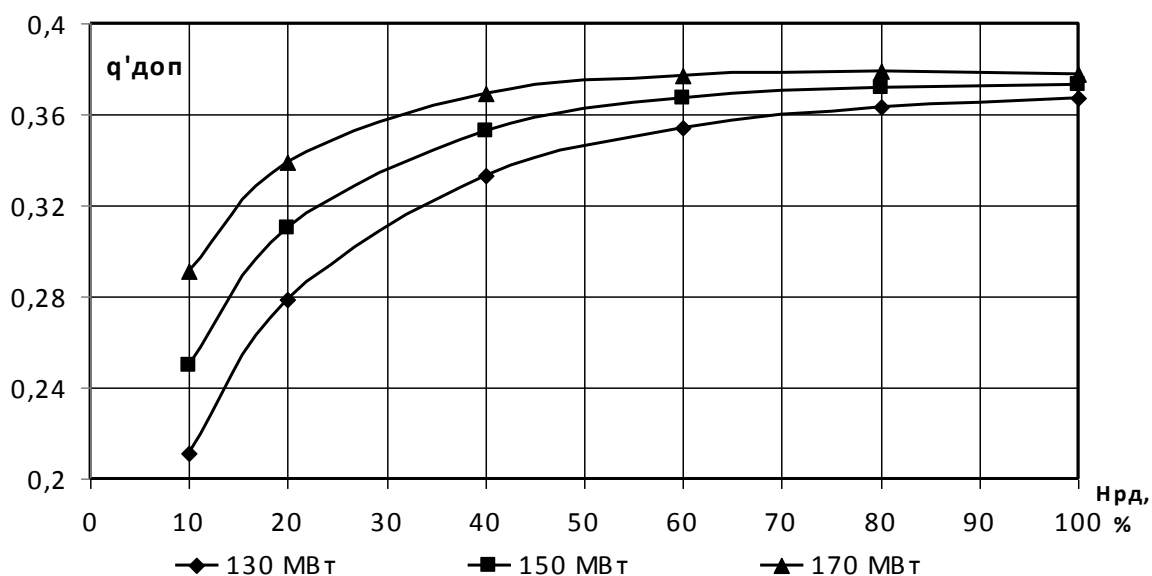


Рис. 2. Зависимость  $q'_{\text{доп}}$  от  $H_{\text{рд}}$  для турбоустановки Т-185-130 при температуре  $\tau_2 = 50^\circ\text{C}$  и  $W_{\text{св}} = 1250 \text{ кг/с}$  при указанных значениях электрической мощности  $N_{\text{э}}$

Основная причина высокой энергоэффективности подключения дополнительных тепловых нагрузок к ТЭЦ состоит в том то, что при любых планируемых приростах тепловых нагрузок при работе по действующему графику теплосети для любых расчетных температур наружного воздуха рост отопительной тепловой нагрузки, в среднем, лишь на 25-35 % обеспечивается за счет роста расхода теплоты сгораемого топлива в энергетических котлах, и на 60...80 % – за счет снижения потерь теплоты в конденсаторах турбин, работающих в течение всего года по электрическому графику. Такие условия работы характерны, например, для Кировской ТЭЦ-5, среднемесячные режимы работы турбин Т-185-130 которой и были взяты в качестве исходных, и для ТЭЦ всей России. В области малых тепловых нагрузок, когда регулирование осуществляется при полностью открытой РД ЧНД путем обвода части сетевой воды помимо верхнего или нижнего сетевых подогревателей, значение величины  $qr_{\text{доп}}$ , как показали расчеты применительно к турбине Т-185-130, находится в диапазоне 0,15...0,25. Следует ожидать, что и для турбин иных типов эта величина окажется в этом диапазоне.

Полученные в данном исследовании результаты имеют общий характер, то есть они инвариантны по отношению к типам теплофикационных паровых турбин и могут использоваться повсеместно, с учетом реальных условий загрузки оборудования ТЭЦ.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОКСИДОВ СЕРЫ ИЗ ОТХОДЯЩИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ГАЗОВ**

*Балдин В.Ю., Ярошенко Ю.Г.  
УрФУ  
ensav@mail.ustu.ru*

В большинстве развитых стран мира, а также в России существенно ограничен выброс серосодержащих газов без улавливания загрязняющих атмосферу веществ и, в частности, диоксида серы ( $SO_2$ ), выделяющегося при получении черновой меди из сульфидного сырья пирометаллургическим способом [1]. Извлечение этого опасного и, в то же время, ценного соединения позволяет производить, наряду с медью, серосодержащую продукцию. Отходящие газы большинства плавильных и конвертерных процессов с целью обезвреживания перерабатываются в сернокислотных цехах (СКЦ) путем утилизации  $SO_2$  за счет максимально полного окисления в триоксид серы ( $SO_3$ ) с последующей его абсорбцией.

Сернокислотное производство (СКП) является одним из самых распространенных, достаточно эффективных и технологически отработанных способов максимального извлечения  $SO_2$  из металлургических газов. За счет этого на 1 т производимой меди удастся получить до 2,5...5 т серной кислоты. Расширение медеплавильного производства в мире, повсеместная актуализация проблем

энерго- и ресурсосбережения заставляют искать все более совершенные решения, как в самом производстве меди, так и в технологиях и аппаратуре СКП.

Снижение энергоемкости сопутствующего СКП, составляющей до 30 % капитальных затрат, а также значительную долю эксплуатационных расходов, является не менее важной задачей, чем оптимизация энергопотребления традиционных технологий обжига медных концентратов и конвертирования медных штейнов основного производства.

Одним из перспективных путей решения современных энерго-, эколого- и экономических проблем является применение высокоэффективного пылеулавливающего и абсорбционного оборудования СКП. В данной работе представлено обобщение некоторых результатов промышленного применения абсорберов Вентури (АВ) и аппаратов ударно-инерционного действия с прямыми контактными каналами и внутренней циркуляцией жидкости (УИПК) для поглощения  $SO_3$  на ряде предприятий цветной металлургии [2].

Замена малоинтенсивных поверхностных (насадочных) скрубберов и абсорберов башенного типа на высокоскоростные массообменные аппараты позволяет увеличить производительность по газу промывного и сушильно-абсорбционного отделений СКЦ, стабилизировать режим их работы, снизить затраты энергии за счет постоянного гидравлического сопротивления системы в течение всего межремонтного периода эксплуатации и уменьшения объема циркулирующих кислот, повысить надежность очистки газов, улучшить экономические показатели производства, в том числе и путем реконструкции существующих классических полых и насадочных башен.

На предприятиях Урала: Красноуральский медеплавильный комбинат (КуМК), ныне - ОАО «Святогор»; Кировградский медькомбинат (КМК) [3]; и Казахстана - Балхашский горно-металлургический комбинат (БГМК), ныне - ПО «Балхашцветмет», в течение ряда лет были испытаны в промышленных условиях и эксплуатировались АВ [4] и олеумный аппарат УИПК [5].

Основные результаты испытаний этих аппаратов в СКП, работающих на отходящих газах медеплавильного производства, представлены в таблице.

Параметры	Абсорберы Вентури			Аппарат УИПК БГМК
	КуМК	КМК	БГМК	
Источник перерабатываемого газа	Обжиговая печь	Печи пылевидного обжига	Конвертеры	Конвертеры
Концентрация $SO_3$ начальная, об. %	7,01 (4,82-8,40)	7,53 (7,27-7,87)	2,90 (1,54-3,99)	3,29 (1,78-5,20)
Температура газа перед олеумным аппаратом, °С	86,2 (71-100)	232 (230-240)	107,5 (89-118,5)	94,5 (75-112)
Газовая нагрузка $V_r$ , тыс. м <sup>3</sup> /ч (при рабочих условиях)	2,74 (1,84-4,67)	67,2 (52,6-75,0)	46,2 (37,0-58,9)	40,0 (37,0-46,2)
Количество извлеченного из газа $SO_3$ , кг/ч	323,13	6287,06	2219,74	2876,95
Скорость газа (в горловине АВ и контактном канале аппарата УИПК) $w_r$ , м/с	43,1 (29,5-73,5)	32,9 (25,8-36,7)	33,4 (26,7-42,5)	20,2 (18,7-23,3)

Параметры	Абсорберы Вентури			Аппарат УИПК БГМК
	КуМК	КМК	БГМК	
Гидравлическое сопротивление аппарата $\Delta P_a$ , кПа	2,13 (0,67-5,98)	1,42 (0,74-1,95)	1,78 (1,03-2,43)	0,99 (0,88-1,06)
Абсолютная полнота абсорбции $SO_3$ олеумом $\eta_a$ , %	78,9 (18,6-98,9)	62,1 (57,3-68,0)	64,7 (32,6-90,7)	78,8 (67,4-83,9)
Удельный расход абсорбента $m \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> газа (при рабочих условиях)	3,02 (0,97-6,23)	4,63 (3,68-6,33)	3,99 (3,21-5,09)	5,01 (3,46-5,54)
Энергозатраты на обработку 1000 м <sup>3</sup> газа $I_{эн}$ , кВт·ч/(1000 м <sup>3</sup> газа)	0,92 (0,36-2,18)	0,90 (0,70-1,22)	0,97 (0,80-1,12)	0,63 (0,54-0,68)
Удельный расход энергии на извлечение 1 кг/ч $SO_3$ из газа $I_{эн,уд.1}$ , кВт·ч/кг	0,0083	0,0096	0,0200	0,0089
Удельный расход энергии на извлечение 1 кг/ч целевого компонента и на 1000 м <sup>3</sup> газа $I_{эн,уд.2} \cdot 10^3$ , кВт·ч/(1000 м <sup>3</sup> ) на 1 кг/ч $SO_3$	2,92 (1,14-8,09)	0,14 (0,13-0,16)	0,51 (0,27-1,02)	0,22 (0,13-0,43)

*Примечание.* В скобках показан диапазон колебания значений по результатам испытаний.

Представленные данные показывают, что аппарат УИПК имеет более высокую абсолютную полноту поглощения триоксида серы (на 18...20 %), чем промышленные АВ, при меньших удельных затратах энергии на обработку 1000 м<sup>3</sup> газа и на извлечение целевого компонента  $SO_3$  из газовой смеси.

При этом энергозатраты  $I_{эн}$  для аппарата УИПК оказались во всех случаях в 1,4...1,5 раза ниже, чем в АВ, а удельные затраты энергии на 1000 м<sup>3</sup> газа и на извлечение 1 кг/ч  $SO_3$  в аппарате УИПК в 2,3 раза меньше, чем в АВ на БГМК.

Таким образом, из исследованных двух типов современных высокоинтенсивных массообменных аппаратов различного масштаба, применяемых для утилизации  $SO_2$  путем получения серной кислоты из отходящих газов цветной металлургии, что обеспечивает решение задач комплексного использования сырья и обезвреживания газовых выбросов, аппараты УИПК являются более эффективными с экологической, энергетической и экономической точек зрения.

#### *Библиографический список*

1. Вольхин А.И., Елисеев Е.Н., Жуков В.П. Черновая медь и серная кислота. В 2-х томах. Т. 2 / Под общ. ред. Е.Н. Елисеева. Челябинск: Полиграф. объединение «Книга», 2004. 378 с.
2. Increase of efficiency and decrease of power consumption in  $SO_3$  recycling from off-gas of pyrometallurgical processes / V. Baldin, Y. Gordon, Y. Yaroshenko // Proceedings of the Second International Symposium on Greenhouse Gases in the Metallurgical Industries – Policies, Abatement and Treatment. 43rd Annual Conference of Metallurgists of CIM. August 22-25, 2004, Hamilton, Ontario, Canada. P. 53-62.
3. Применение абсорберов Вентури в сернокислотном производстве / В.Ю. Балдин, Б.П. Волгин, Ф.С. Югай и др. // Цв. металлургия. 1979. № 20. С. 35-37.
4. Олеумный абсорбер Вентури для поглощения серного ангидрида из отходящих металлургических газов / В.Ю. Балдин, Б.П. Волгин, Ф.С. Югай и др. // Цв. металлургия. 1986. № 1. С. 37-39.
5. Повышение эффективности процесса массообмена в олеумном абсорбере / И.О. Гришков, В.И. Шапотайло, Ю.А. Савельев и др. // Цв. металлы. 1986. № 6. С. 39-42.

## ИНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГ СВЕТОДИОДНОЙ ПРОДУКЦИИ УОМЗ

Балдина Е.В., Котляревская И.В., Балдин В.Ю.  
ОАО «ПО «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова»,  
УрФУ  
ensav@mail.ustu.ru

В соответствии с Федеральным законом от 23.11.09 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [1] в России в течение 2010 года и поэтапно в период 2011-2014 гг. осуществляется переход от устаревших источников света (как известно, с 01.01.2011 года не допускаются к обороту лампы накаливания мощностью 100 ватт и более, которые могут быть использованы в цепях переменного тока в целях освещения) на энергоэффективные. Это позволит добиться значительного сокращения потребления энергоресурсов, поскольку в настоящее время в России около 12 % всей электроэнергии расходуется на освещение (в мире – около 20 %, в США – 22 %) [2]. При этом наша страна имеет уникальный шанс перейти от этих традиционных, но неэкономичных ламп накаливания, сразу к наиболее современным, энергетически эффективным и экологически безопасным – светодиодным (LED) или, так называемым, твердотельным (полупроводниковым) источникам света, минуя промежуточный этап применения люминесцентных ламп, полноценное производство которых в России не налажено в достаточной степени [3], требуются значительные затраты на обезвреживание и утилизацию использованных ртутьсодержащих отходов, может вызвать серьезные экологические проблемы без решения этих вопросов, а качественной продукции зарубежных производителей поступает мало [4].

В результате реализации проекта внедрения энергоэффективных ламп и их производства в России ожидается [2]:

- сокращение потребления электроэнергии минимум на 4 %;
- сокращение потребности в строительстве новых электростанций и инвестиций в них (7,7 ГВт мощности и 350 млрд руб.);
- сокращение выбросов CO<sub>2</sub> на 26,5 млн т ежегодно;
- сокращение использования ископаемых энергоресурсов на 12,9 млн т условного топлива;
- создание новых рабочих мест – 1,5 тыс. мест и т. д.

Особо благоприятным условием для осуществления перехода к энергоэффективному освещению на Среднем Урале является наличие мощного интеллектуального и промышленного потенциала, в частности, налаженного и высокотехнологичного производства на ПО «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова (УОМЗ). Являясь одним из старейших промышленных предприятий России, располагающим современным наукоемким производством, лидером отрасли оптического приборостроения, одним из крупнейших предприятий оборонно-промышленного комплекса России, УОМЗ создает прорывные продукты в военной сфере, а также, благодаря трансферу технологий, ведет разработки инновационной гражданской продукции: медицинской техники и энергоэффективных светильников. Завод активно сотрудничает с круп-

нейшим вузом – Уральским федеральным университетом имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. УрФУ, как известно, должен стать учебным заведением нового типа – не только образовательным, но и научным, а также производственным центром. Уже сегодня УОМЗ выпускает широкий спектр изделий, базирующихся на энергосберегающих технологиях, наладил производство светотехнических кластеров – основ, объединяющих несколько десятков светодиодов. Эта технология позволяет создавать различную светотехнику, конкурентными преимуществами которой являются малые габариты, долговечность и энергоэффективность [5].

В настоящее время в России доля использования всех энергосберегающих ламп (люминесцентные лампы, светодиодные и иные энергоэффективные лампы) составляет менее 4 %. Потребность же российского рынка в таких современных и надежных осветительных системах как светодиодные является огромной: согласно прогнозу экспертов Программы развития ООН, к 2014 году ежегодный спрос на энергоэффективные лампы в России будет составлять более 280 млн. шт., в то время как сегодня рынок светодиодных ламп составляет менее 2...3 %. По данным исследования компании «Технологии роста», скорость роста мирового рынка LED-источников в последние годы составляла 25...30 % и в ближайшее время темпы прироста составят не менее 17...22 % в год [6].

На УОМЗ разработана «Дорожная карта» развития светотехники на основе светодиодных компонентов<sup>1</sup>, предусматривающая возможность замены традиционных источников света на полупроводниковые, и их широкое применение в различных сферах: ЖКХ, на промышленных предприятиях, в автомобильных приборах, для магистрального освещения дорог, архитектурной и ландшафтной подсветке и т. д.

Предполагается, что на предприятии будет реализован полный цикл производства светодиодных осветительных систем от роста светодиодных пластин, процессирования светодиодных чипов и светодиодных ламп до сборки ламп в светильники и светодиодные системы. Ожидаемый срок окупаемости инвестиций в данное производство составляет около 5 лет.

В целях маркетинговой оценки возможности замены существующих осветительных приборов на светодиодные на интернет-сайте УОМЗ в разделе «Светофоры и светотехника» можно выполнить расчеты энергетической и экономической эффективности замены традиционных источников света на светодиодную продукцию УОМЗ [7]. Для этого необходимые исходные характеристики заменяемого источника света следует ввести в электронную форму: в левую часть таблицы вводятся значения для лампы, которую планируется заменить, а в правой части будут получены результаты расчета.

Результаты расчетов, произведенных с помощью «Калькулятора расчета эффективности светодиодной продукции УОМЗ» на примере подъездной лампы накаливания мощностью 100 Вт, приведены в табл. 1 и 2.

---

<sup>1</sup> В работе принимал участие Максим С.В.

Таблица 1

Форма для ввода исходных характеристик заменяемого источника света и получения результатов расчета эффективности светодиодного светильника с помощью «Калькулятора расчета эффективности светодиодной продукции УОМЗ»

Тип светильника	Подъездный (варианты: офисный, уличный)	Аналог производства УОМЗ	Подъездный ДПБ 42 <sup>2</sup> «люкс» (предлагаются варианты: «эконом», «стандарт», «люкс»)
Тип лампы	Лампа накаливания (варианты: люминесцентная, галогенная, компактная люминесцентная)	Тип лампы производства УОМЗ	Светодиодный
Мощность лампы, Вт	100	Мощность лампы, Вт	13
Потребление энергии, кВт·ч	0,1 <sup>3</sup>	Потребление энергии, кВт·ч	0,013
Световой поток, лм	500 <sup>4</sup>	Световой поток, лм	800
Длительность работы лампы, тыс. часов	1	Длительность работы лампы, тыс. часов	100
Количество светильников, шт.	1 (можно ввести любое значение)	Количество светильников, шт.	1 (подставляется то же значение, что и в исходных данных)
Стоимость одной лампы, руб.	15 (минимальное значение, можно ввести любое)	(Данные в форме отсутствуют)	—
Стоимость обслуживания одной лампы в год, руб.	100 (Варианты: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000)	(Данные в форме отсутствуют)	—
Стоимость киловатт-часа, руб.	3 (значение предлагается, можно указать свое)	Стоимость киловатт-часа, руб.	3 (подставляется то же значение, что и в исходных данных)
Сколько дней в неделю включено освещение	7 (варианты: 1, 2, 3, 4, 5, 6)	Сколько дней в неделю включено освещение	7 (подставляется то же значение, что и в исходных данных)
Сколько часов в сутки включено освещение	24 (варианты: от 1 до 24)	Сколько часов в сутки включено освещение	24 (подставляется то же значение, что и в исходных данных)

Предлагаемый в данном случае светодиодный светильник ДПБ 42 предназначен для освещения подъездов зданий (под навесом), лестничных площадок, поэтажных проходов в жилых домах, коридоров, туалетных



<sup>2</sup> Светильник светодиодный потолочный бытовой ДПБ 42

<sup>3</sup> Рассчитывается калькулятором автоматически

<sup>4</sup> Величина светового потока, по мнению авторов данной статьи, занижена

комнат, кладовок, других нежилых помещений и рассчитан на работу в сети переменного тока напряжением 220 В. Светильник устанавливается на потолок, является вандалоустойчивым. Светильник выпускается в трех модификациях и имеет внешний вид, показанный на рисунке и основные технические характеристики, представленные в табл. 2 и в тексте:

Таблица 2

Модификация	Номинальная потребляемая мощность, Вт, не более	Световой поток, лм, не менее
ДБП 42- 7- 001У3.1* - эконом	7	500
ДПБ 42-11- 001У3.1* - стандарт	11	700
ДПБ 42-13- 001У3.1* - люкс	13	1000

Цвет светодиодов

Белый

Тип кривой силы света по ГОСТ 17677-82

Косинусная

Вес, кг, не более

0,5

Габаритные размеры, мм

385x 65x 63

Таблица 3

Результаты технических и экономических расчетов, произведенных с помощью «Калькулятора расчета эффективности светодиодной продукции УОМЗ»

Ключевые сравнения	Выбранный тип лампы	Аналог производства УОМЗ	Разница при применении светодиодов, руб.	Разница при применении светодиодов, %
Мощность потребления, кВт·ч в год	877	114	763	88
Стоимость затраченной электроэнергии, руб. в год	2629	342	2287	87
Стоимость обслуживания, руб. в год	115	0	115	100
Общая плата за электроэнергию и обслуживание, руб. в год	2744	342	2402	88
Срок окупаемости, лет			1	

Аналогичные результаты расчетов могут быть получены для заменяемых светильников другого типа, например, люминесцентных мощностью 36 Вт, в этом случае экономия будет достигать 50 % и срок окупаемости составит 3 года.

Полученные результаты со сроками окупаемости от 1 до 3 лет являются инвестиционно привлекательными и позволяют успешно продвигать светодиодную продукцию УОМЗ на уральский и российский рынок.



### *Библиографический список*

1. Федеральный закон Российской Федерации от 23.11.09 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.rg.ru/2009/11/27/energo-dok.html> // Российская газета. Центральный выпуск № 5050 (226), опубли. 27 ноября 2009 г.
2. Замена ламп накаливания на энергосберегающие светильники. Позиция Минпромторга / С.П. Коваль: Материалы Интернет-ресурса «Портал-Энерго» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://portal-energo.ru/articles/details/id/247> (дата публикации 13.09.10)
3. К 2015 году будет налажено массовое производство светодиодных ламп: Материалы информационно-аналитического светотехнического портала «Light Russia online» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.lightrussia.ru/> (дата публикации 10.11.10)
4. Семенов Б.Ю. Экономичное освещение для всех. М.: САЛОН-ПРЕСС, 2010. 224 с.
5. ОАО «ПО «Уральский оптико-механический завод» имени Э.С. Яламова»: Интернет-портал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.uomz.ru>
6. Доля использования энергосберегающих ламп в России составляет 4 %: Материалы Интернет-портала «РБК. Исследования рынков» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://marketing.rbc.ru/news\\_research/08/11/2010/562949979147369.shtml](http://marketing.rbc.ru/news_research/08/11/2010/562949979147369.shtml) (дата публикации 08.11.10)
7. Калькулятор расчета эффективности светодиодной продукции УОМЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.uomz.ru/download/calculator.html>

### **ФИНАНСИРОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЕКТОВ**

*Барабанова Ю.А., Петрунько Л.А., Ануфриев В.П.  
ООО «Уральский центр энергосбережения и экологии»  
mail@ucee.ru*

Проект считается энергоэффективным (прибыльным) в том случае, когда стоимость сэкономленной энергии превышает, как правило, суммарные капитальные и эксплуатационные затраты, связанные с его реализацией.

К числу энергоэффективных проектов могут быть отнесены проекты, связанные:

- с развитием малой энергетики для замещения дорогого привозного топлива (мини-ТЭЦ, мини-ГЭС, комплексное использование ВИЭ);
- с развитием производства альтернативных видов топлива, (древесные отходы, биомасса, бытовые отходы, отходы сельскохозяйственного производства);
- с заменой устаревшего оборудования на энергоэффективное в различных сферах экономики.

Можно выделить отдельные особенности, характерные для многих проектов, связанных с повышением энергоэффективности, в частности:

- довольно длительный период реализации проекта;
- сравнительно высокую затратность на разработку и реализацию;
- относительно высокие сроки окупаемости затрат (особенно, дисконтированные);
- достаточно высокая доля рисков.

Программа повышения энергоэффективности в РФ предполагает общий объем финансирования до 2020 г. в объеме 10 трлн руб., причем, 90 % средств –

частные. В России для финансирования энергоэффективных проектов используются несколько источников и схем, в том числе:

- **бюджетные ассигнования**, выделяемые на федеральном, региональном и местном уровнях. Для получения данных средств в 2011 г. регионам и муниципальным образованиям необходимо в 2010 г. подготовить и утвердить программы энергосбережения;

- **иностранные инвестиции компаний и банков**. Европейский банк реконструкции и развития по программе технической поддержки трех российских регионов, в том числе и Свердловской области, по поиску и подготовке проектов совместного осуществления, которые выполнялись российскими экспертами (в том числе и УЦЭЭ) за счет средств ЕБРР [1].

15 проектов ПСО в РФ уже одобрены Минэкономразвития и будут профинансированы. До конца года оператор ПСО – Сбербанк планирует провести еще 4 рассмотрения ПСО. Предприятиям следует учитывать, что если проект, претендующий на ПСО, начат в 2008 году, то и выбросы CO<sub>2</sub> ему будут зачтены с 2008 года.

Другой проект ЕБРР–RUSEFF [2], (офис которого расположен на площадях УЦЭЭ) по финансированию энергоэффективных проектов, через российские банки-партнеры (Промсвязьбанк и Росбанк). В этом проекте эксперты, в том числе и российские, прошедшие обучение, проводят на средства ЕБРР технико-экономическое обследование представляемого к финансированию проекта, кредит по которому может выплачиваться в течение 5 лет. Аналогичный проект KAZSEFF в Казахстане действует уже на протяжении 2 лет достаточно успешно.

Сегодня, когда финансовый кризис, по мнению большинства специалистов, отступил или отступает, в РФ принят ряд знаковых документов по энергосбережению, на российском рынке энергоэффективности сложилась следующая ситуация: оживились инвесторы, международные и российские банки, частные инвесторы, разочарованные в спекуляциях с денежными средствами, вынуждены рассматривать рынок энергоэффективности РФ. Но даже осторожный спрос на инвестиционные проекты или бизнес-планы во много раз превосходит предложение. И смеем предположить, что этот спрос будет только расти. Почему? Наш опыт показывает, что предприятия ТЭКа, газонефтедобычи, ряд металлургических предприятий в плане инвестиций самодостаточны. Предприятия же бюджетной сферы и ЖКХ просто не представляют процедуры получения заемных денежных средств. Многие из них наивно предполагают, что простой набор мероприятий по энергоэффективности может быть профинансирован, а чтобы заплатить за подготовку необходимых банковских документов им просто в голову не приходит. Поэтому разрыв спрос - предложение будет увеличиваться. Что делать? Учить и тех и других инвесторов основам энергоэффективности, или создавать собственные службы энергосбережения, что в ряде банков уже сделано (Сбербанк, ВТБ), предприятия же учить готовить банковские документы, для чего создавать венчурные фонды, нацеленные только на энергоэффективные проекты и принимающие на себя риски и затраты обеих сторон. И здесь может быть интересен опыт еще одной международной про-

граммы [3], в которой участвует Свердловская область – разработка низкоуглеродной стратегии. Нас заинтересовал опыт Правительства Великобритании, создавшей на своей базе госпредприятие, имеющее в штате группу экспертов, выполнивших энергетические обследования (энергоаудиты) на 400 средних предприятиях. Это предприятие имеет от правительства финансовые средства для выдачи «проаудированным» предприятиям до сорока тысяч фунтов стерлингов беспроцентного займа на реализацию энергоэффективных проектов. И правительство уверено, что вложенные им средства будут повышать энергоэффективность экономики, приведут к сокращению выбросов CO<sub>2</sub> и будут в срок возвращены.

Как показывает практика, к числу наиболее перспективных и эффективных схем и механизмов финансирования энергосберегающих проектов (программ) РФ можно отнести частно-государственное партнерство, международные программы энергосбережения, лизинг, энергосервисные контракты (потенциал их рынка составляет порядка 500 млрд руб./год) и углеродное финансирование.

Таким образом, деятельность по энергоэффективности может быть успешной при соответствующем финансовом обеспечении.

На вопрос: какая же схема или механизм финансирования являются лучшими для энергоэффективных проектов – однозначного ответа быть не может. Каждый вид финансирования должен четко соответствовать своему назначению, учитывать цели и особенности проектов. Однако можно попытаться сформулировать некоторые из обязательных условий успешной и эффективной реализации проектов:

- знание инициаторами и владельцами проектов возможных форм (схем, механизмов) финансирования, их потенциальных возможностей, достоинств и недостатков, а также положительного опыта зарубежных и отечественных компаний по применению для реализации эффективных проектов;
- обоснованное сочетание различных источников финансирования, в т.ч., собственных и заемных, государственных и частных;
- тщательная экономическая проработка проекта, как предшествующая выбору конкретной организационно – экономической модели финансирования, так и в ходе реализации проекта;
- обоснованная оценка и обеспечение интересов всех участников проекта;
- обеспечение профессионального менеджмента проекта на всех стадиях его реализации.

#### *Библиографический список*

1. Отчет по программе «Привлечение инвестиций в энергосберегающие проекты регионов России: Проект ЕС: EuropeAid/126554/C/SER/RU» / И.А. Башмаков и др. М., 2009. 309 с.
2. Программа RUSEFF по финансированию проектов в области повышения энергоэффективности и использования возобновляемых источников энергии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ruseff.com/RUSEFF/Ru/index.phpwww.ruseff.com>.

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ**

*Бугрин И.С., Денисов М.А.*

*УрФУ*

*bugrin@rambler.ru*

Настоящая научно-исследовательская работа посвящена применению компьютерных технологий для изучения влияния конструктивных элементов нагревательных печей на энергосбережение.

Действующие нагревательные печи в металлургии нуждаются в улучшении показателей использования топлива и других ресурсов, так как металл перед прокаткой нагревается до 1150...1250 °С, при этом на нагрев металла используется примерно 40...45 % газа, остальное составляют потери.

В нагревательных печах часто используются для отопления торцовые горелки, ориентированные вдоль печи. Эти горелки могут устанавливаться с разными углами наклона осей к поверхности металла (поду). Практический интерес представляет определение рациональной величины угла наклона, при которой полезная теплоотдача максимальна.

Работа не с самим объектом, а с его моделью дает возможность относительно быстро и без существенных затрат исследовать его свойства и поведение в любых мыслимых ситуациях.

Использование компьютерных моделей, отражающих специфику технологических процессов, позволяет разрабатывать эффективные подходы к созданию систем управления, решающих в числе важнейших задачи энерго- и ресурсосбережения.

Компьютерный инженерный анализ (CAE) – общее название для программ или программных пакетов, предназначенных для инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов. Расчётная часть пакетов чаще всего основана на численных методах решения дифференциальных уравнений (метод конечных элементов, метод конечных объёмов, метод конечных разностей и др.).

В качестве пакета моделирования выбирался программный комплекс ANSYS.

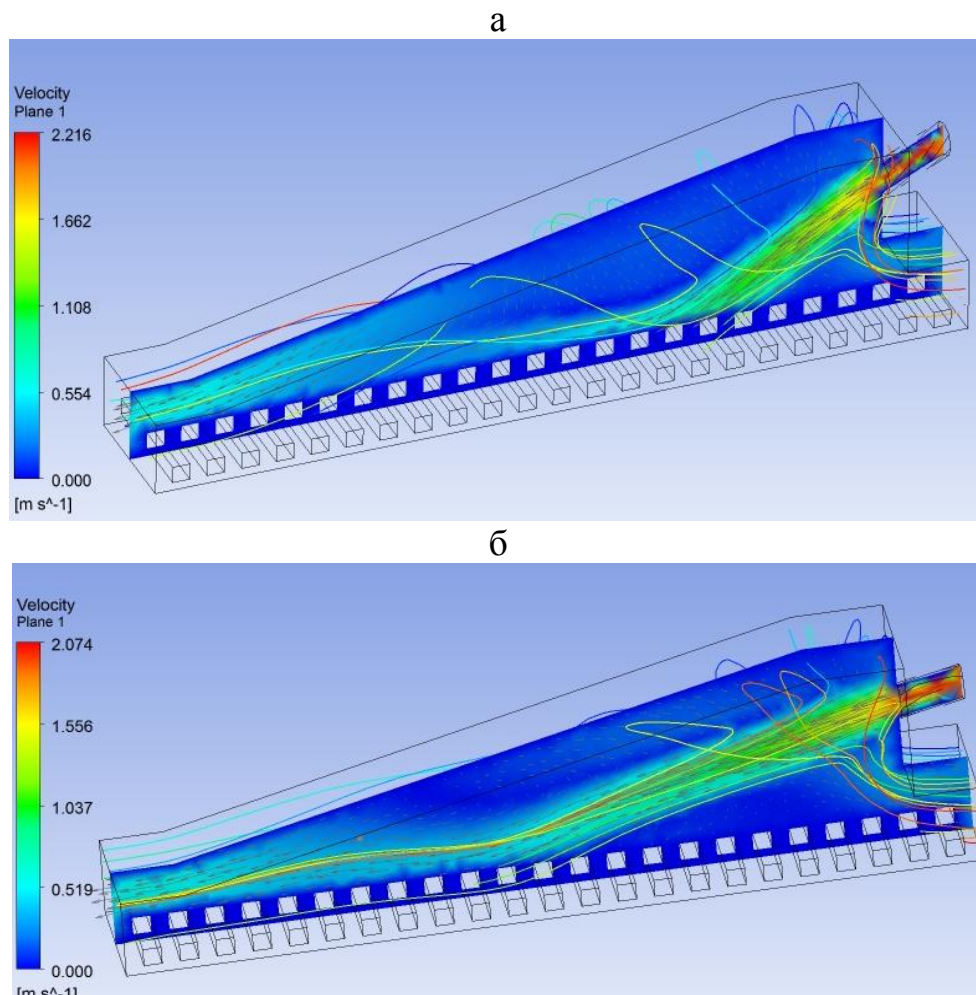
Многоцелевые функции комплекса ANSYS обеспечиваются наличием в нем многочисленного семейства отдельных специализированных программ, имеющих много общих функций, однако математическое обеспечение которых рассчитано на решение отдельных классов задач.

Основой теплового анализа в ANSYS является уравнение теплового баланса, полученное в соответствии с принципом сохранения энергии. При помощи ANSYS поставленная задача решается методом конечных элементов, получая в результате решения поле температуры. Затем ANSYS использует температурное поле для определения других тепловых параметров. ANSYS поддерживает основные виды теплопередачи: теплопроводность, конвекцию, излучение.

Проведен сравнительный расчет тепло- и массообмена в зоне нагревательной печи с шагающим подом для вариантов, отличающихся углом наклона

осей горелок к поверхности металла (пода). Теплообмен излучением рассчитывался с использованием метода Discrete Transfer.

Факел с большим наклоном оси (рисунок, а), отталкивается рядом заготовок и плохо «промывает» пространство под заготовками. При средней величине угла наклона горелки, тепловой поток к металлу максимальный (рисунок, б). С увеличением угла наклона горелок к металлу средний тепловой поток к заготовкам сначала растет, а затем снижается.



Распределения скоростей и траекторий движения частиц газа в среднем продольном сечении зоны с прямоугольными заготовками

Проведение работ по ресурсосбережению на промышленной печи требует оценки эффективности организации процесса теплообмена в рабочем пространстве агрегата. На этом этапе полезно представлять влияние количества продуктов горения, текущих вдоль печи, на теплоотдачу к металлу.

Сравниваются результаты расчета вариантов теплообмена, отличающихся разным соотношением скорости дымовых газов из горелки и пережима свода. Для сопоставимости условий теплообмена, корректируются величины скорости и обеспечивается равенство во всех вариантах величин суммарного количества тепла, введенного в печь. Остальные условия однозначности и метод решения

задачи теплообмена излучением были такими же, как в расчетах предыдущего параграфа.

От варианта *а* к варианту *в* уменьшается поток газа из горелки и растет поток из-под пережима.

Данные таблицы показывают, что увеличение относительного расхода более холодного газа из-под пережима свода (от варианта *а* к варианту *в*) средний тепловой поток к поду (нагреваемому металлу) снижается.

Полезное теплопоглощение при разном количестве газов, движущихся вдоль печи

Вариант	а	б	в
Соотношение теплосодержаний потоков из горелки и пережима	3,48	1,0	0,3497
Средний тепловой поток к поду (металлу), Вт/м <sup>2</sup>	23693	21384	20864

Рассмотренные варианты и качественные результаты расчетов, вероятно, характерны для нагревательных печей, т.к. в сварочных зонах печей поток газов из горелок всегда имеет более высокую температуру, чем поток из других зон. Хотя в противоточных печах эти «другие» зоны более высокотемпературные, но дымовые газы в них теряют много тепла и подстуживаются.

#### *Библиографический список*

1. Денисов М.А., Михалев Г.А., Булатов А.Т., Макаров С.А. Стендовые исследования влияния способа отопления и конструкции пода на теплоотдачу к металлу в нагревательных печах с шагающим подом. Сообщение 1. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1984. № 2. С. 83-87.
2. Денисов М.А., Михалев Г.А., Булатов А.Т. и др. Стендовые исследования влияния способа отопления и конструкции пода на теплоотдачу к металлу в нагревательных печах с шагающим подом. Сообщение 2. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1984. № 4. С. 74-78.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ ПОТОКА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

*Булыгин А.А., Климова В.А.*

*УрФУ, г. Екатеринбург*

[Bulygin\\_art@mail.ru](mailto:Bulygin_art@mail.ru)

Интенсификация конвективного теплообмена за счет искусственной турбулизации потока является одним из основных практических методов повышения эффективности теплообменных аппаратов. Под интенсификацией теплообмена в данном исследовании понимаются периодически расположенные на поверхности трубы турбулизаторы, обеспечивающие закрутку потока за счет появления тангенциальной составляющей скорости распространения среды.

Соответственно, возникает необходимость исследования закономерности изменения теплоотдачи на стенках каналов с дискретной турбулизацией потока при вынужденной конвекции, заключающейся в том, что в определенном диапазоне размеров и расположений турбулизаторов рост теплоотдачи больше

роста гидравлического сопротивления по сравнению с аналогичным гладким каналом. Использование практически реализуемого соотношения  $(Nu/Nu_{г\text{л}}) > (\alpha/\alpha_{г\text{л}})$ , где  $Nu/Nu_{г\text{л}}$  и  $\alpha/\alpha_{г\text{л}}$  – соответственно, соотношение чисел Нуссельта и коэффициентов теплоотдачи (КТО) закрученного потока к потоку в гладкой трубе, позволяет при заданных значениях тепловой мощности и гидравлического сопротивления теплообменника уменьшить не только объем аппарата, но и площадь его поперечного сечения, что в свою очередь существенно снижает затраты на изготовление и обслуживание теплообменного аппарата.

В данной статье описывается исследование влияния турбулизатора в виде вставки-завихрителя (рис. 1) на изменение коэффициента теплоотдачи.

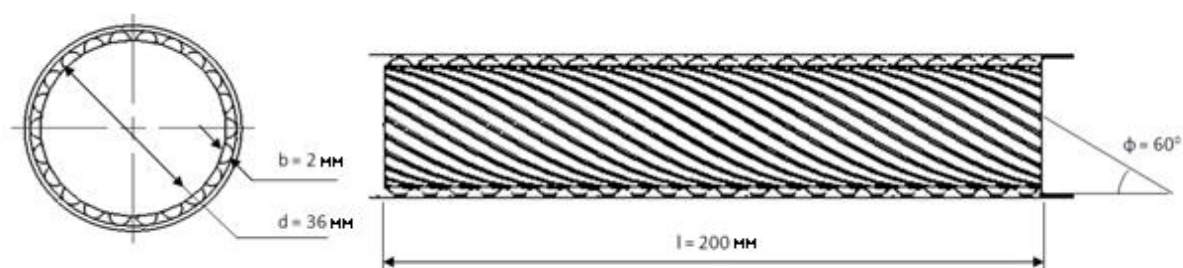


Рис. 1. Опытный образец вставки-завихрителя

Коэффициент теплоотдачи определялся через нахождение потока теплоты от цилиндрической поверхности к потоку воздуха с учетом тепловых потерь в окружающую среду (рис. 2).

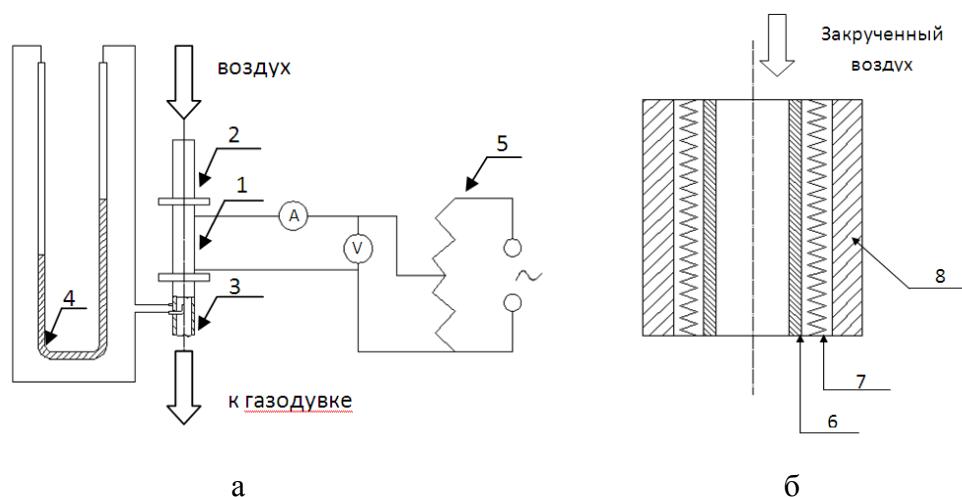


Рис. 2:

- а - принципиальная схема установки для измерения КТО; 1 – измерительный участок трубы диаметром 36 мм; 2 – вставка-завихритель; 3 – участок измерения расхода воздуха; 4 – U-образный дифманометр; 5 – регулирующий автотрансформатор;  
б - схема канала; 6 – металлическая труба; 7 – электрический нагреватель; 8 - теплоизоляция



Результаты исследования можно наблюдать на сравнительном графике (рис. 3).

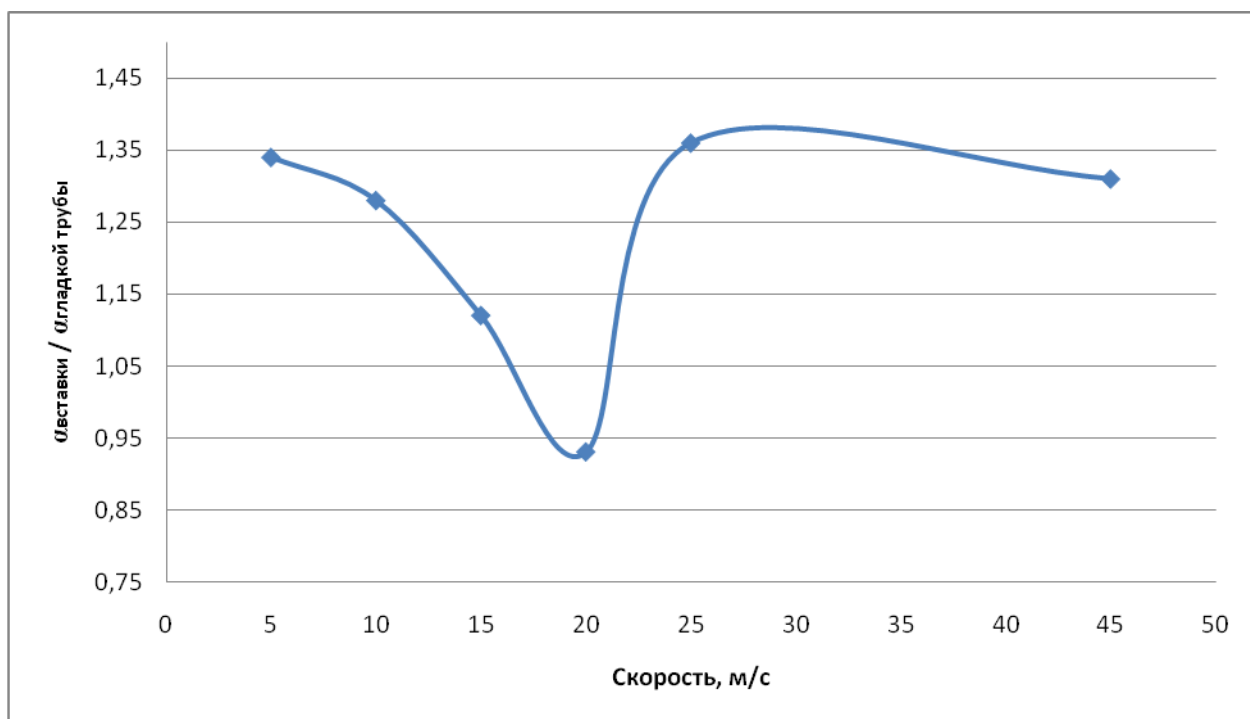


Рис. 3. Зависимость соотношения КТО вставки к КТО гладкой трубы от скорости потока

Имея зависимость изменения КТО при использовании турбулизатора, можно сделать выводы о зависимости площади теплообмена теплообменного аппарата и степени увеличения соотношения КТО (рис. 4).

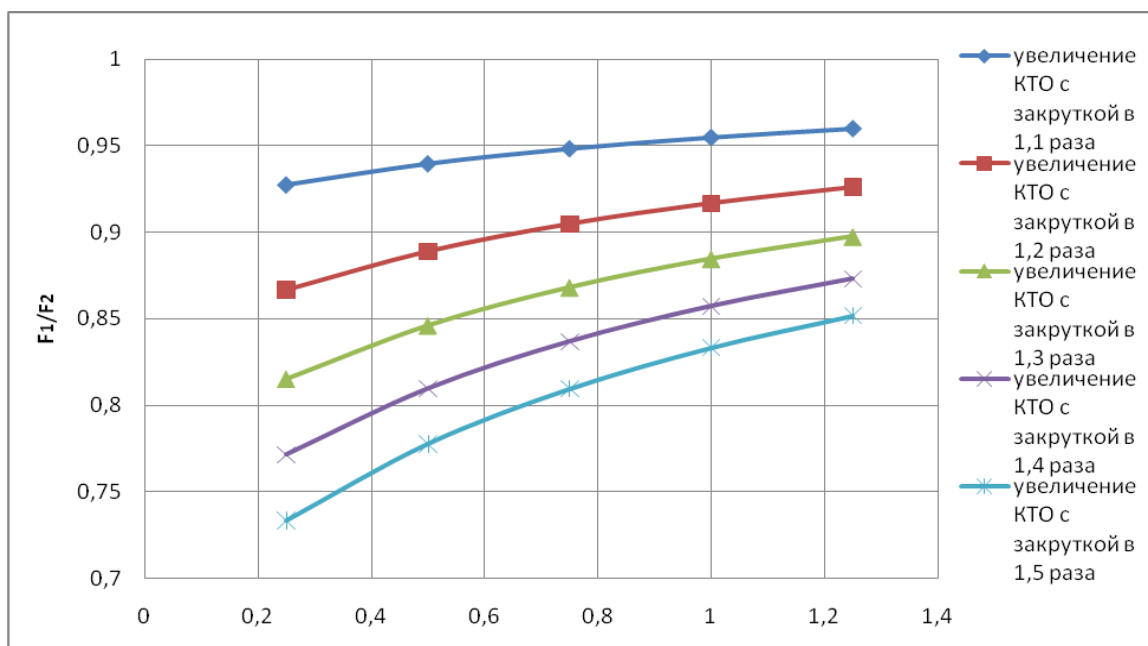


Рис. 4. Зависимость соотношения площадей теплообмена от степени увеличения соотношения КТО потока с закруткой к потока без закрутки



Таким образом, использование турбулизаторов теплообмена позволяет значительно увеличить коэффициент теплоотдачи, что в свою очередь позволяет улучшить характеристики теплообменных аппаратов, сократив металлоемкость при их изготовлении за счет сокращения площади теплообмена, а также снизив затраты на их обслуживание и ремонт.

#### *Библиографический список*

1. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1990. 200 с.
2. Дрейцер Г.А., Лобанов И.Е. Предельная интенсификация теплообмена в трубах за счет искусственной турбулизации потока // ИФЖ. 2003. Т. 76. № 1. С. 46-51.
3. Дрейцер Г.А., Мякочин А.С. Влияние геометрической формы турбулизаторов на эффективность интенсификации конвективного теплообмена в трубах // Теплоэнергетика. 2002. № 6. С. 57-59.
4. Дрейцер Г.А. Эффективность использования закрутки потока для интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах // Теплоэнергетика. 1997. № 11. С. 61-65.

### **РАЗРАБОТКА ТЕПЛОВЫХ СХЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ИНТЕНСИВНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ С ПРОИЗВОДСТВОМ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

*Бурмакина А.В., Морозов И.П.  
Московский энергетический институт (технический университет)  
[ann-burmakina@yandex.ru](mailto:ann-burmakina@yandex.ru)*

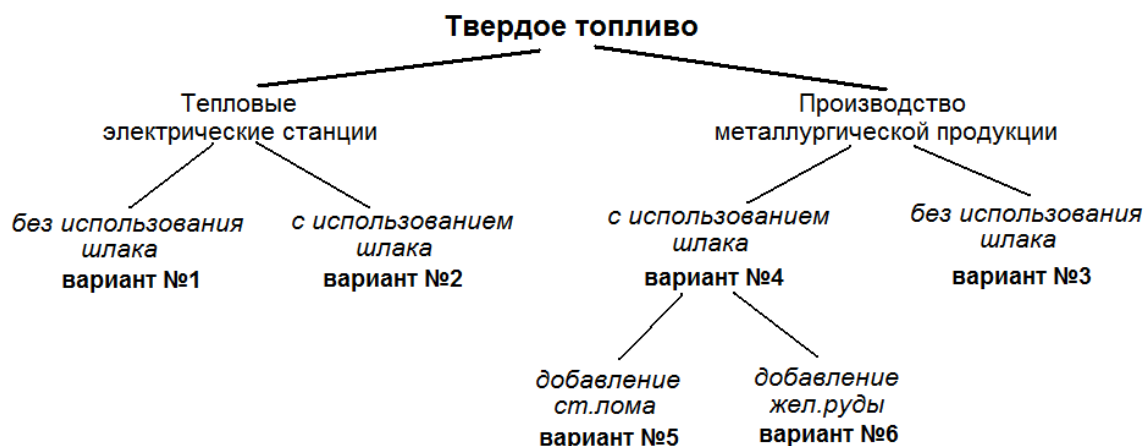
Энергоресурсосбережение является чрезвычайно актуальной проблемой в связи с дефицитом и высокой стоимостью жидкого и газообразного топлива. В перспективе предусматривается увеличение объемов потребления на энергетические нужды твердого топлива. Низкосортные виды топлива являются значительным резервом снижения энергозатрат в различных технологических процессах. Основной задачей технологического цикла добычи и использования углей является производство конечной продукции, при ее минимальной себестоимости и энергоемкости.

Для решения этой задачи целесообразно разработать схемы энергоснабжения, которые бы базировались одновременно на природном газе и угле, с обязательным производством горючего газа из угля для возможности замещения этим газом природного газа.

Объекты с различными вариантами тепловых схем могут иметь разную величину потребления первичного энергоресурса – угля, природного газа, нефти и т. п. Подбор и использование эффективных теплотехнических принципов работы энергопотребляющих установок и технических решений является неотъемлемой частью при создании объекта.

Данная работа ставит своей целью выявление перспективных направлений существенного повышения энергетической эффективности использования низкосортного твердого топлива, с оценкой принципиально возможного уровня энергосбережения.

Возможные варианты переработки низкосортных углей приведены на рисунке.



Варианты схем по переработке твердого топлива

По варианту № 1 твердое топливо используется на тепловых электрических станциях. При таком варианте вся минеральная часть топлива складировается на золоотвалах. Теплота шлака не используется.

В варианте № 2 расплавленный шлак используется для производства шлакощебня. В этом варианте используется способ по переработке твердого топлива в расплаве. Он был применен на Несветай ГРЭС, разработан научно-исследовательским институтом, г. Ростов-на-Дону. При таком варианте предусмотрена переработка минеральной части топлива, но только после ее остывания. Соответственно теплота шлака не используется.

В вариант № 3, № 4 входят способы по использованию твердого топлива на металлургических предприятиях - это способ РОМЕЛТ, разработанный Московским институтом стали и сплавов (г. Москва), и способы, разработанные член-корр. АН СССР З.Ф. Чухановым.

В варианте № 3 вся несгораемая часть переводится в жидкое агрегатное состояние, что создает благоприятные предпосылки для улавливания всей золы в единый объем. Однако, переработка получаемого шлака при таком варианте не предусматривается.

Предложенный вариант № 4 показывает высокоэффективную организацию процесса производства металла. Однако, несмотря на явные преимущества предложенного варианта, проблема переработки шлакового остатка остается открытой.

Огненно-жидкие шлаки по составу наиболее близко подходят в качестве исходного материала для производства шлакокаменного литья, цементного клинкера, гранулированного шлака, минеральной ваты, удобрений. На производство цементного клинкера расходуется 0,244 т у.т./т, на производство минеральной ваты в среднем 0,098 т у.т./м<sup>3</sup>, производство гранулированного шлака сопоставимо с замещением щебня, произведенного в карьерах 0,035 т у.т./т [1].

Таким образом, для получения наибольшего энергоресурсосбережения целесообразно перерабатывать шлак на цементный клинкер с использованием его температуры и теплоты в пределах тепловой схемы процесса. В зависимости от поставленной цели разработка теплотехнологической схемы возможна по любому направлению (вариант № 5, № 6).

Получаемую энергию по варианту № 4 целесообразно направить на получение энергоемкой продукции. Одними из таких производств являются переработка стального лома и плавление железной руды.

Удельное теплотребление процесса плавления лома может быть определено из выражения

$$q_{\text{л}} = c_{\text{тв}}(t_{\text{тв}}) \cdot t_{\text{пл}} + q_{\text{ск}} + c_{\text{ж}}(t_{\text{ф}} - t_{\text{пл}})$$

где  $c_{\text{тв}}(t_{\text{тв}})$  - теплоемкость твердого лома, кДж/кг·К;  $t_{\text{пл}}$  - температура плавления стального лома, °С;  $q_{\text{ск}}$  - скрытая теплота плавления стали, кДж/кг стали;  $c_{\text{ж}}$  - теплоемкость жидкого лома, кДж/кг·К;  $t_{\text{ф}}$  - фактическая температура расплавленного лома, °С.

Как показывают расчеты теплового баланса, с учетом дополнительной теплоты расплава ( $1,19 \cdot 10^4$  кДж/кг угля), возможно, расплавить 2,477 кг стального лома и 0,666 кг железной руды на кг угля.

Для оценки энергосберегающего эффекта рассматриваемых вариантов, сопоставим энергоемкость получаемых продуктов в рассматриваемых вариантах с продуктами в действующих производствах [2].

Энергоемкость продуктов в действующих производствах определяется из выражения

$$\mathcal{E}_i^{\text{СП}} = \sum_{j=1}^n m_j \cdot \mathcal{E}_j^{\text{П}}$$

где  $\mathcal{E}_i^{\text{СП}}$  - энергоемкость совокупного продукта, полученного в  $i$ -ой схеме, кг у.т./кг угля;  $m_j$  - удельные расходы исходного вещества входящего в  $i$ -ую схему, кг/кг угля;  $\mathcal{E}_j^{\text{П}}$  - его энергоемкость, кг у.т./кг угля;  $n$  - количество компонентов исходных веществ.

$$\mathcal{E}_{\text{ДП}_i}^{\text{СП}} = \sum_{k=1}^M p_k \cdot \mathcal{E}_{\text{ДП}_k}^{\text{П}}$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ДП}_i}^{\text{СП}}$  - энергоемкость совокупного продукта в действующих производствах, кг у.т./кг угля;  $p_k$  - продукты, получаемые в  $i$ -ой схеме, кг/кг угля;  $\mathcal{E}_{\text{ДП}_k}^{\text{П}}$  - энергоемкость  $k$ -го продукта на уровне действующего продукта, кг у.т./кг угля.

Разница между энергоемкостями действующей и рассматриваемой системы и составит потенциал энергосбережения, кг у.т./кг угля

$$\Pi_i = \mathcal{E}_{\text{ДП}_i}^{\text{СП}} - \mathcal{E}_i^{\text{СП}}$$

Как показывает расчет, наибольшей энергоемкостью обладают вариант № 6 – 0,824 кг у.т./кг угля и вариант № 3 – 0,891 у.т./кг угля. Однако переработка стального лома является перспективным производством (вариант № 5). Энергоемкость этого варианта равна 0,804 у.т./кг угля, кроме того, вариант № 5 обладает наибольшим потенциалом энергосбережения,  $P_3 = 2,563$  кг у. т/кг угля.

На основе проведенного энергетического анализа разработанных вариантов переработки твердого топлива установлено, что наиболее энергетически эффективным направлением является использование твердого топлива на получение металлического полупродукта, цементного клинкера и газового топлива, при дополнительной переработке стального лома.

#### *Библиографический список*

1. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии / М.И. Панфилов, Я.Ш. Школьник, Н.В. Орининский и др. – М.: Металлургия, 1987. 238 с.
2. Ключников А.Д. Энергетика технологии и вопросы энергосбережения. М.: Энергоатомиздат, 1986. 128 с. (Экономия топлива и электроэнергии).

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ**

*Бушугев А.Н.*

*Орский гуманитарно-технологический институт*

*nielsen1@mail.ru*

*Картавцев С.В.*

*МГТУ им. Г.И. Носова*

На сегодняшний день ведущая роль в производстве качественной и высоколегированной стали принадлежит электросталеплавному способу [3].

Одновременно наблюдается опережающий рост стоимости энергоресурсов по сравнению с ростом цен на металлопродукцию, что смещает акцент с задачи достижения максимальной производительности на задачу более эффективного использования основных и вспомогательных ресурсов, в том числе электроэнергии и природного газа [1, 3].

В современном металлургическом производстве широкое применение получили энергоемкие энергетические установки, наиболее мощными из которых являются дуговые сталеплавильные печи (ДСП).

Дуговые сталеплавильные печи во время работы создают непостоянную и несимметричную по фазам нагрузку для питающей сети. Броски токов дуг печей приводят к возникновению помех в системе электроснабжения. Основной помехой являются колебания напряжения, которые отражаются на работе других потребителей, имеющих с ДСП общую точку присоединения к сети [2, 4].

Самым простым и, можно сказать, единственным на сегодняшний день, способом снижения колебаний напряжения в сетях при работе печей являются мероприятия, прежде всего технологического и организационного характера, обеспечивающие более рациональное использование ДСП [4].

Из проведенного элементарного анализа наиболее распространенных схем электроснабжения видно, что нет научно разработанных более эффективных и надежных вариантов. К тому же в большинстве случаев (более 90 %) данные схемы предполагают электроснабжение от дальних источников (как правило, ГРЭС). Немалый факт в том, что все используемые схемы предполагают установку между источником и ДСП не менее двух мощных трансформаторов. Так как ДСП представляют собой большие реактивные нагрузки, то эти два факта приводят к огромным электрическим потерям [3].

Улучшение технико-экономических показателей электротехнологического процесса производства металлопродукции и эффективное использование как электроэнергии, так и прочих вспомогательных энергоносителей на всех этапах данного процесса остается актуальной задачей.

Таким образом, целью исследовательской работы поставлено построение теоретической модели повышения эффективности функционирования электротехнического комплекса «Система энергообеспечения – Электросталеплавильное производство» путем исследования и последующей разработки основ методики построения энергетических систем электросталеплавильного производства и энергоэффективной схемы энергообеспечения в условиях поддержания энергосберегающих электротехнологических режимов ДСП.

Для достижения поставленной цели определены основные задачи работы:

1) Разработка критериев оптимизации и методов расчета характеристик нагрузки ДСП с учетом влияния параметров энергетического источника и системы электроснабжения для обеспечения энергосберегающих режимов работы ДСП энерготехнического комплекса «Энергетический источник – Электросталеплавильное производство»

2) Разработка методики анализа энергетических источников и систем энергообеспечения действующих электросталеплавильных производств, установок, систем и комплексов.

3) Разработка алгоритмов расчета и методики построения наиболее энергоэффективной системы энергообеспечения электросталеплавильного производства.

4) Разработка и исследование основ построения энергосберегающих энергетических систем и комплексов «Система энергообеспечения – Электросталеплавильное производство».

5) Разработка и исследование методов расчета и определения эффективности и надежности энергоэффективной системы энергообеспечения.

6) Разработка алгоритмов, пакета прикладных программ для ЭВМ, а также практических рекомендаций для расчета основных электрических и энергетических характеристик системы энергообеспечения, показателей качества энергетической системы и источника, а также электро- и энерготехнологических режимов, включая энергосберегающие, энерготехнического комплекса «Энергетический источник – Электросталеплавильное производство».

Решение поставленных задач может быть произведено на основе теоретических и экспериментальных исследований с использованием системного подхода к расчету режимов электро- и теплоэнергетических систем, теории тепло-

вых двигателей, методов теории вероятностей и математической статистики, методов целочисленного программирования и покоординатной оптимизации, метода статистических испытаний [2].

Проведение данной исследовательской работы позволит разработать принципы построения и методику расчета энергоэффективных и надежных систем энергообеспечения электросталеплавильного производства. Это позволит при практической реализации на производстве значительно снизить потери электроэнергии в высоковольтных ЛЭП при транспортировке от ГРЭС (или городских ТЭЦ) к электросталеплавильным цехам металлургических предприятий и понизить удельный расход электрической энергии на производство электростали.

#### *Библиографический список*

1. Березовский Н.И. Технология энергосбережения: учебное пособие / Н.И. Березовский, Е.К.Костюкевич. Минск: БИП-С Плюс, 2007. 152 с.
2. Вахнина В.В. Разработка динамических моделей дуговых сталеплавильных печей и их электромагнитной совместимости с системой электроснабжения по несинусоидальности напряжения: автореф. дис. ... канд. тех. наук / В.В. Вахнина. Нижний Новгород: [б.и.], 2000. 19 с.
3. Основы современной энергетики / Под общей ред. чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. 3-е изд. перераб. и доп. М.: МЭИ, 2008. 576 с.
4. Салтыков В.А. Разработка энергосберегающих режимов комплекса «система электроснабжения – дуговая сталеплавильная печь» с учетом электромагнитной совместимости: дис. ... канд. техн. наук / В.А. Салтыков. Самара, 2002. 212 с.

## **РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Бушув А.Н.*

*Орский гуманитарно-технологический институт*

*nielsen1@mail.ru*

*Картавцев С.В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*

Металлургические предприятия потребляют около 30 % вырабатываемой электроэнергии и являются наиболее энергоемкой отраслью промышленности

В современном металлургическом производстве широкое применение получили энергоемкие энергетические установки, наиболее мощными из которых являются дуговые сталеплавильные печи (в дальнейшем ДСП) [2, 3].

Из проведенного элементарного анализа наиболее распространенных схем электроснабжения видно, что нет научно разработанных наиболее эффективных и надежных вариантов. К тому же в большинстве случаев (более 90 %) данные схемы предполагают электроснабжение от дальних источников (как правило, ГРЭС). Немало важен факт, что все используемые схемы предполагают установку между источником и ДСП не менее двух мощных трансформаторов. Так как ДСП представляют собой большие реактивные нагрузки, то эти два факта приводят к огромным электрическим потерям [2].

В качестве энергоисточника для электроснабжения рассматриваемого потребителя могут использоваться практически любые типы электростанций. На территории нашей страны принимают участие в выработке электроэнергии тепловые, ГЭС, АЭС, ветровые, солнечные, геотермальные, дизельные и некоторые другие. Более 70 % вырабатываемой электроэнергии приходится на тепловые электростанции, оставшиеся 30 % почти поровну делят атомные и гидравлические электростанции [1].

Прежде всего, цель предстоящей работы состоит в подробном рассмотрении всевозможных комбинаций энергоустановок совместно с утилизационными для разработки научной методики построения эффективного и надежного энергоисточника для электросталеплавильного производства. Кроме этих основных вариантов тепловых электростанций на рассмотрение будут поставлены всевозможные варианты утилизации тепла металлургического производства для выработки электроэнергии.

С теоретической точки зрения, в данной ситуации допустимо множество различных комбинаций тепловых двигателей, обеспечивающих выработку электрической энергии, утилизационных установок и турбин, обеспечивающих утилизацию тепла металлургического предприятия [1, 5].

«Рабочим телом» в электросталеплавильном процессе является электрическая энергия. Как видно, выработка электрической энергии осуществляется посредством тепловых процессов на электростанциях. На основании данного постулата в предстоящей работе будет осуществлен научный подход к проблеме электроснабжения ДСП со стороны рассмотрения теплового процесса выработки электрической энергии на электростанции. Не важно, будет ли источником электроснабжения дальняя ГРЭС, обеспечивающая электричеством электросталеплавильные цеха через районную сеть, или это индивидуальная электростанция с возможностью дополнительной утилизации тепла. Если подходить к данной проблеме именно с целью нахождения «идеальной» тепловой системы, то и будет решен вопрос об энергосберегающем электроснабжении данного потребителя [2, 3, 4].

Особенность одного из потенциалов энергосбережения на электросталеплавильном производстве заключается в отсутствии научно разработанной методики построения и расчета индивидуального энергоисточника для данного потребителя. Практическая значимость работы заключается в нахождении общих критериев, ставящих четкие границы и правила построения энергоэффективных систем и источников энергообеспечения электросталеплавильного производства. Разработанные в предстоящей работе критерии и методы расчета и разработки систем энергообеспечения позволят на любом металлургическом предприятии, как при реконструкции, так и при возведении электросталеплавильного цеха, с научной обоснованностью разрабатывать систему электро- и энергоснабжения данного крупного энергетического потребителя и, при экономической обоснованности, произвести разработку индивидуального источника энергии электросталеплавильного цеха [3, 5].

Разработанная методика позволит обеспечить значительное снижение затрат на выработку и, прежде всего, на передачу электроэнергии к электростале-

плавильным цехам производства по дальним воздушным линиям электропередач.

### *Библиографический список*

1. Буров В.Д. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов; под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Цанева. 3-е изд., стереотип. М.: МЭИ, 2009. 466 с.
2. Дружинина О.Г. Разработка алгоритмов и моделей энерго–экологического анализа технологических процессов и оценка энергозатрат на примере металлургических технологий: автореф. дис. ... канд. тех. наук / О.Г. Дружинина. Екатеринбург: [б.и.], 1998. 22 с.
3. Злобин А.А. Основные концептуальные положения энергосбережения на предприятиях черной металлургии / А.А. Злобин, В.Н. Курятов, А.П. Мальцев // Экологические системы. 2007. № 5. С. 22-28.
4. Салтыков В.М. Особенности выбора рациональных режимов параллельных ДСП по себестоимости / В.М. Салтыков, В.А. Салтыков // Проблемы энерго- и ресурсосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2002. С. 33-35.
5. Энергосбережение на промышленных предприятиях: учебное пособие / под ред. проф. М.И. Яворского. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. 134 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА И ПЛАВЛЕНИЯ ЛОМА**

*Ведяскин Е В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова*

*E-mail: [evgeny.mgn.2008@mail.ru](mailto:evgeny.mgn.2008@mail.ru)*

Производство стали имеет большой экономический масштаб, в его структуре имеется конверторное производство, электросталеплавильное, и доля плавки стали электросталеплавильным способом растёт. В шихте сталеплавильного производства доля лома достигает 60...95 %. Электросталеплавильное производство потребляет большое количество энергии до 500...700 кВт·ч/т. Расход электроэнергии снижают применением природного газа и кислорода. Однако при применении энергетического способа происходит значительное окисление. При коэффициенте избытка воздуха равным 1 железо сильно окисляется, при уменьшении до 0,25 окислительного процесса не происходит, но в то же время сопровождается большим перерасходом газа. Кроме того, при повышении температуры происходит изменение количества окислительных веществ и увеличивается количество тепла, уносимого с уходящими газами. Регулированием кислорода можно осуществить безокислительный процесс с минимальным потреблением газа. В работе ставится задача разыскать условия наиболее рационального плавления лома природным газом.

Задача решалась сопоставлением диаграммы состояния системы  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_x\text{O-Fe-CO}_2\text{-CO-C}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe}_3\text{O}_4\text{-Fe}_x\text{O-Fe-H}_2\text{O-H}$  равновесием окислительных компонентов неполного сгорания природного газа. Равновесие продуктов сгорания при  $T = 600...1600^\circ\text{C}$  рассчитывалось в программе MathCad с использованием фундаментальных термодинамических данных. При



исследовании данного процесса была выявлена экстремальная зависимость располагаемой теплоты от температуры нагрева и плавления лома газокислородным источником. Результаты приводятся в таблице.

Зависимость располагаемой теплоты  $Q_p$  от температуры  $T$

$T, ^\circ\text{C}$	600	700	800	900	1000	1100
$Q_p, \text{кДж/м}^3$	8732,4	9309,8	9808,3	10140,5	10373,4	10515,9
$T, ^\circ\text{C}$	1200	1300	1400	1500	1600	
$Q_p, \text{кДж/м}^3$	10323,8	10133,2	9741,9	9155,2	8571,7	

При помощи табличных данных можно увидеть изменения  $Q_p$  по мере увеличения средней массовой температуры металла для безокислительного нагрева и найти максимальную температуру, при которой располагаемая теплота достигает своего максимального значения, при  $T = 1093 ^\circ\text{C}$  и  $Q_p = 10516 \text{ кДж/кг}$ . Затем располагаемая теплота начинает падать, так как физическое тепло уходящих газов превышает тепло химической реакции окисления. Это позволяет получить минимальный расход топлива на нагрев и плавление металла, и максимальный выход годного металла. Таким образом, возможно достижение большого энергосберегающего эффекта.

#### *Библиографический список*

1. Вегман Е.Ф. Краткий справочник доменщика / Е.Ф. Вегман. М: Металлургия, 1981. 240 с.
2. Копытов В.Ф. Нагрев стали в печах / В.Ф. Копытов. М: Металлургиздат, 1955. 264 с.
3. Карп И.Н. Продукты сгорания природного газа при высоких температурах / И.Н. Карп, Б.С. Сорока, Л.Н. Душевский. Киев: Техника, 1967. 380 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ В ТРУБЕ, СНАБЖЕННОЙ ТУРБУЛИЗУЮЩЕЙ ВСТАВКОЙ**

*Вовненко Н.Э., Морданов С.В., Никулин В.А.,*

*Пецура С.С., Сыромятников С.Н.*

*УрФУ,*

*Путилин Ю.В.*

*Уральский государственный лесотехнический университет*

При конструировании большинства теплообменных аппаратов стоит задача: выдержать заданные значения по количеству передаваемой теплоты, гидравлическому сопротивлению, и при этом, сделать его как можно более компактным и легким. Выполнить эти противоречивые требования, возможно только путем интенсификации теплообмена. Существует множество способов интенсификации теплообмена. Одним из эффективных способов решения вышеуказанных обстоятельств является использование различных турбулизаторов [1].

Одной из конструкций положительно зарекомендовавшей себя в практике нагрева или охлаждения вязких жидкостей является турбулизующая вставка *Hitran* фирмы *Cal Gavin Limited*. Схема турбулизатора *Hitran* взята с сайта [www.calgavin.com](http://www.calgavin.com) и приведена на рис. 1.

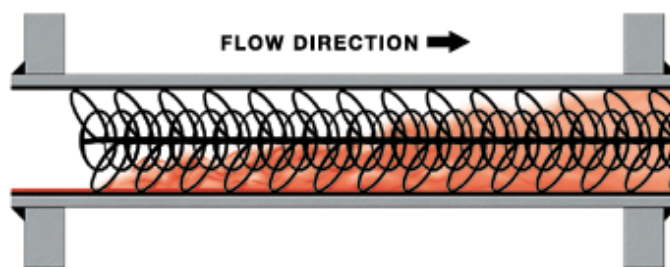


Рис. 1. Схема турбулизатора *Hitran*

Турбулизатор, представленный на рис. 1, представляет собой систему переплетенных колец и закрепленных на общей оси. Такой турбулизатор весьма прост в обращении. Его легко вытащить из трубки, а также установить, что немаловажно при чистке трубок теплообменника и турбулизаторов. Сами переплетенные кольца за счет своей упругости плотно прижимаются к стенкам трубки. В результате чего существует хороший тепловой контакт турбулизатора со стенкой трубы. Однако, несмотря на длительное (более 20 лет) использование таких конструкций турбулизаторов в технике, нет четкого представления - за счет чего получаются высокие коэффициенты теплообмена и как их можно рассчитать, что сдерживает их широкое применение.

В связи с изложенным, была проведена работа по экспериментальному определению коэффициентов теплоотдачи для потока жидкости нормальной вязкости при течении в гладкой трубе и трубе, снабженной турбулизующей вставкой *Hitran*. Целью работы являлось получение данных для оценки эффективности вставок для жидкостей нормальной вязкости, а также для последующей отладки численных методов расчета коэффициентов теплоотдачи.

В основе экспериментальной установки лежит опытный элемент. Он представляет собой вертикально установленный единичный элемент кожухотрубчатого теплообменника и состоит из двух коаксиальных труб (рис. 2). По внутренней трубке поступает орошающая жидкость, а по наружной в противоток орошающей – греющая жидкость. Поскольку в качестве рабочей жидкости выступала вода, то здесь и далее все теплофизические параметры и полученные результаты относятся к воде.

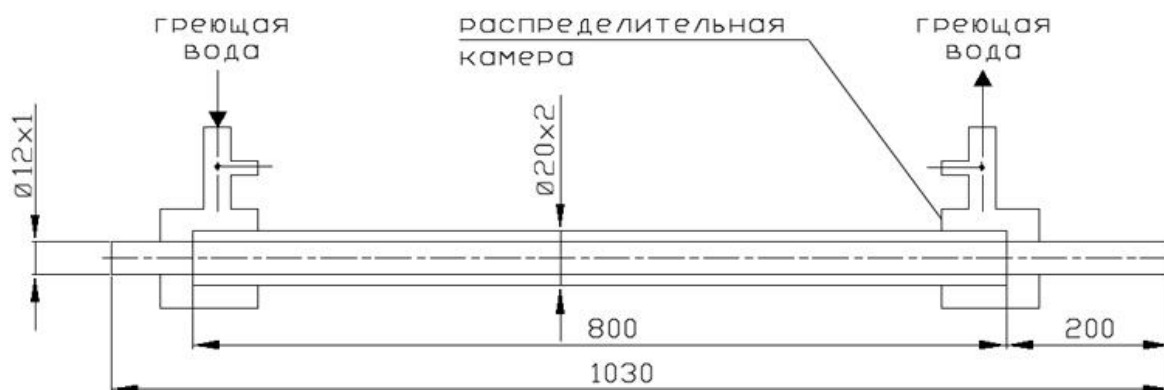


Рис. 2. Опытный элемент

Для корректных определений тепловых потоков весь опытный элемент, включая камеры, был теплоизолирован.

Сначала эксперименты проводили без турбулизующей вставки, затем в трубе опытного элемента против потока устанавливалась турбулизующая вставка, и в последней серии опытов вставка в трубе устанавливалась по потоку.

Результаты экспериментов представлены на рис. 3. Как следует из анализа результатов эксперимента, наличие турбулентных вставок приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи, примерно, в 3 раза. Ориентация турбулентной вставки по потоку и против потока тоже имеет значение. Для ориентации турбулентной вставки по потоку, зависимость коэффициента теплоотдачи описывается скорее ярко выраженной степенной зависимостью, чем линейной. В то время как в остальных случаях, эта зависимость носит слабо степенной почти линейный характер. Причина особого характера поведения коэффициента теплоотдачи для случая ориентации турбулизующей вставки по потоку на сегодняшний момент не совсем понятна и требует дополнительного анализа.

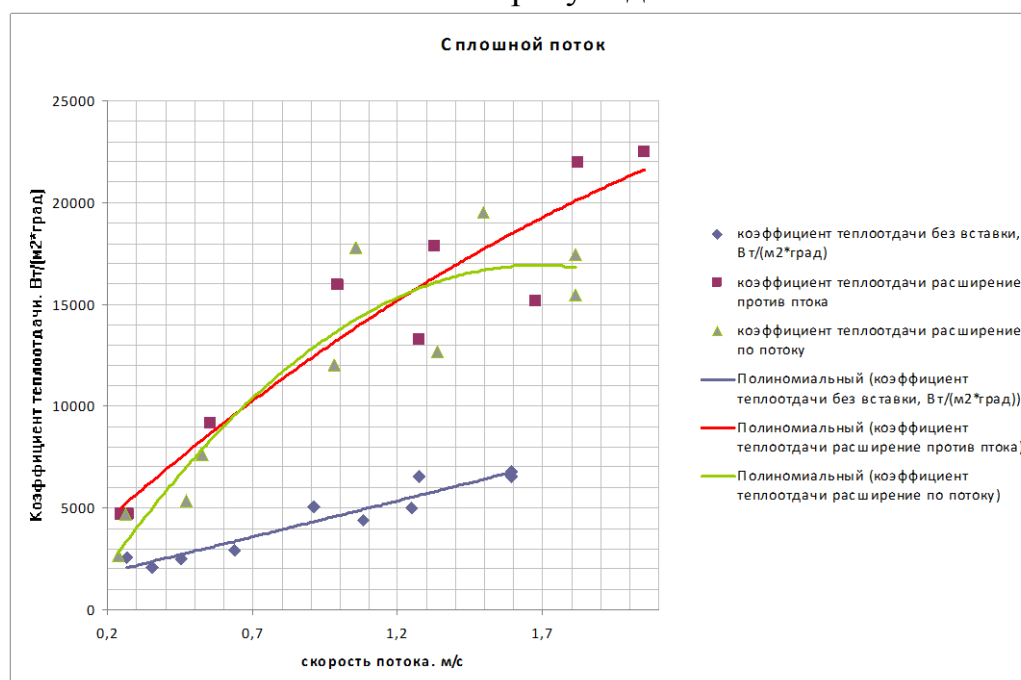


Рис. 3. Коэффициенты теплоотдачи при сплошном режиме орошения

В заключении хотелось бы сказать, что в результате проведенных экспериментов были впервые получены коэффициенты теплоотдачи для сплошного режима орошения при наличии в теплообменной трубке турбулизующей вставки *Hitran*. За счет вставки величина коэффициента теплоотдачи увеличилась в 3 раза.

В целом экспериментальная установка позволяет проводить аналогичные исследования с другими турбулизующими вставками.

Существующие экспериментальные данные позволят отладить расчетные модели и на их основе оптимизировать параметры турбулизующих вставок.

#### *Библиографический список*

1. Щербаченко И.К. Экспериментальное исследование влияния геометрической формы кольцевых турбулизаторов на интенсификацию теплообмена в трубах: дисс. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / Щербаченко Иван Константинович. М., 2003. 174 с.

## **ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ**

*Ворошилова Е.Н., Белоусова О.А., Павлович О.Н.  
УрФУ*

Одной из проблем транспортировки природного газа является коррозия трубопроводов, вызываемая наличием сернистых соединений в газе – сероводорода и меркаптанов. Важной задачей является очистка природного газа от сернистых соединений до норм, установленных ОСТ – сероводорода (не более  $0,02 \text{ г/м}^3$ ) и меркаптанов (не более  $0,036 \text{ г/м}^3$ ). Рассмотрим в качестве примера состав природного газа Оренбургского месторождения (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика природного газа Оренбургского месторождения

Компонент	Содержание, % об.
Метан	87,83
Этан	2,2
Пропан	0,8
Бутан	0,22
Пентан + высшие углеводороды	0,15
Оксид углерода (IV)	0,2
Азот	1,1
Сероводород	5
Вода	2,5

Основную часть природного газа составляют метан и этан, они и обеспечивают основную теплоту сгорания при использовании газа в качестве топлива. Примеси тяжелых углеводородов в транспортируемом газе нежелательны, но тяжелые углеводороды являются ценными соединениями, их отделяют до транспортировки и используют для других целей. Содержание инертных компонентов (азота и оксида углерода (IV)), снижающих общую теплоту сгорания газа, невысоко, поэтому не требуется отделения их от основной массы газа.

Объемная доля инертных компонентов не регламентирована ОСТом. Содержание водяных паров составляет 2,5 % об., поэтому газ требует осушки. Концентрация сероводорода велика и одной из главных задач подготовки газа к транспортировке является очистка его от сероводорода.

Объемная концентрация сероводорода в 5 % считается достаточно высокой, поэтому требует применения сорбентов с высокой поглотительной емкостью. Этим требованиям отвечают физические сорбенты. Рекомендуемые в настоящее время адсорбционные методы очистки на цеолитах или активных углях обладают следующими недостатками: высокой чувствительностью к способу переработки на предыдущих стадиях и получение большого объема отработанного газа после регенерации адсорбентов, утилизация и переработка которого представляет собой непростую проблему.

На основе анализа известных технологических решений очистки природного газа от сероводорода выбран метод с использованием физической абсорбции с применением диметилового эфира тетраэтиленгликоля. Предлагаемый жидкий поглотитель обладает следующими преимуществами:

- стабильностью абсорбционной способности (до 10 лет);
- нетоксичностью и хорошей биологической разлагаемостью;
- малой коррозионной активностью;
- небольшой теплотой абсорбции (не требуется промежуточное охлаждение в абсорбере);
- высокой гигроскопичностью и возможностью достижения низкой точки росы газа в одну ступень;
- низкой склонностью к вспениванию;
- малым давлением насыщенных паров.

Рассчитан годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии с использованием физической абсорбции диметиловым эфиром тетраэтиленгликоля (табл. 2).

Таблица 2

Эффективность внедряемой технологии

Показатели	Единица измерения	Вариант сероочистки диметиловым эфиром тетраэтилен-гликоля
Производительность установки по природному газу	тыс. м <sup>3</sup> /год	9 800 000
Капитальные вложения	тыс. руб.	41 398
Эксплуатационные затраты на 1000 нм <sup>3</sup> газа	руб./год	38
Эксплуатационные затраты на весь объем очищаемого газа	тыс. руб./год	372 694
Годовой экономический эффект	тыс. руб./год	37 269
Срок окупаемости капитальных вложений	год	1,1

Как видно из данных табл. 2, рассчитанный срок окупаемости капитальных вложений составит около одного года.

Таким образом, учет особенностей состава сернистого природного газа обуславливает выбор метода физической абсорбции с применением в качестве абсорбента диметилового эфира тетраэтиленгликоля – эффективного и способного работать в течение длительного срока. Применение указанного абсорбента делает возможным организацию очистки природного газа от сернистых соединений в одну стадию и получение значительного экономического эффекта от внедрения предлагаемой технологии. В сравнении с технологией применения физической адсорбции уменьшаются потери природного газа на стадии регенерации, значительно увеличивается срок работы сорбента при достижении требуемого качества очистки газа.

## ОПРОБОВАНИЕ ДОБАВОК ПРИ СПЕКАНИИ СМЕСЕЙ ИЗВЕСТНЯК ЛИПАРИТ

Гаврилюк М.Н., Семериков И.С.  
УрФУ  
E-mail: dmik@pochta.ru

Портландцемент это один из самых распространенных строительных материалов. При производстве портландцементного клинкера, более половины его себестоимости приходится на обжиг клинкера [1]. Снизить удельный расход топлива можно за счет снижения температуры обжига и применения нетрадиционных сырьевых материалов, а также применением минерализаторов  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ , фосфогипса и фторангидрита (таблица). Применение широко распространенной горной породы липарит позволяет снизить температуру обжига, так как липарит имеет низкую температуру размягчения до  $1200^\circ\text{C}$ , за счет повышенного содержания  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Липарит обладает схожим химическим составом с глиной Шуралинского месторождения, поэтому такая замена будет целесообразной.

Химический состав используемых материалов

Оксиды	Название материалов				
	Известняк	Липарит	Глина Шуралинская	Фосфогипс	Фторангидрид
$\text{SiO}_2$	0,69	65,14-68,40	53,63	0,85-0,92	не опр.
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1,15	12,99-14,96	19,81	не опр.	не опр.
$\text{TiO}_2$	не опр.	0,36-1,72	не опр.	не опр.	не опр.
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,52	0,16-2,07	9,24	0,88-1,78	не опр.
$\text{FeO}$	не опр.	3,55-5,65	не опр.	не опр.	не опр.
$\text{CaO}$	54,00	0,88-2,23	4,99	31,11-31,70	36,65
$\text{MgO}$	0,49	0,46-2,17	2,09	не опр.	не опр.
$\text{MnO}$	не опр.	0,06-0,09	не опр.	не опр.	не опр.
$\text{SO}_3$	не опр.	0,08-0,37	0,23	44,60-45,20	52,35
$\text{P}_2\text{O}_5$	не опр.	0,15-0,26	не опр.	0-1,41	не опр.
$\text{CaF}_2$	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	1,40
$\text{H}_2\text{SO}_4$	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	6,00
$\Delta m_{\text{ПРК}}$	42,95	1,50-4,36	8,82	18,88-1,00	3,60

По данным рентгенофазового анализа можно сделать вывод, что липарит содержит повышенное количество  $\text{SiO}_2$  и  $\text{FeO}$ , а также содержит в своем составе анортит  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  (рис. 1).

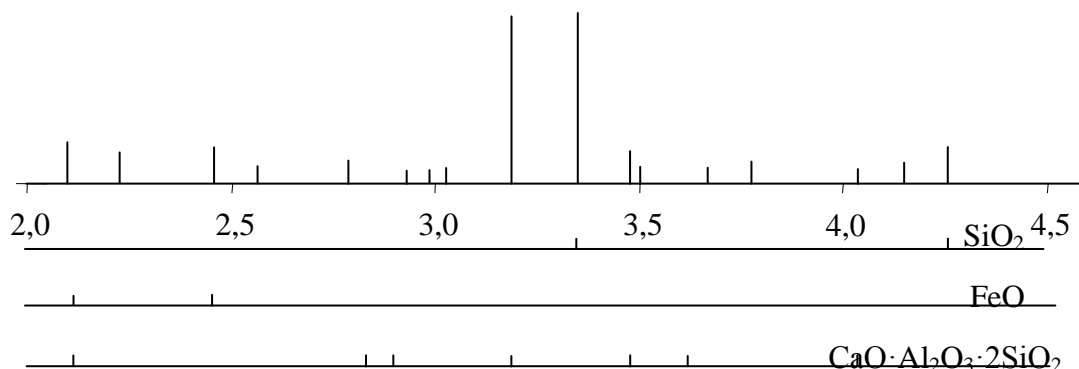


Рис. 1. Штрих-диаграмма природного липарита

Целью данной работы является подбор спекающей добавки для смеси известняка и липарита.

К контрольному составу содержащему 75 % известняка и 25 % липарита (состав 1), добавляли 2,5 %  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  (состав 2), 5 %  $\text{CaF}_2$  (состав 3), 10 % фторангидрита (состав 4), 10 % фосфогипса (состав 5) сверх 100 %. Исследуемые составы прессовались в цилиндрические образцы и обжигались в силитовой печи, после обжига у составов измерялась прочность (рис. 2).

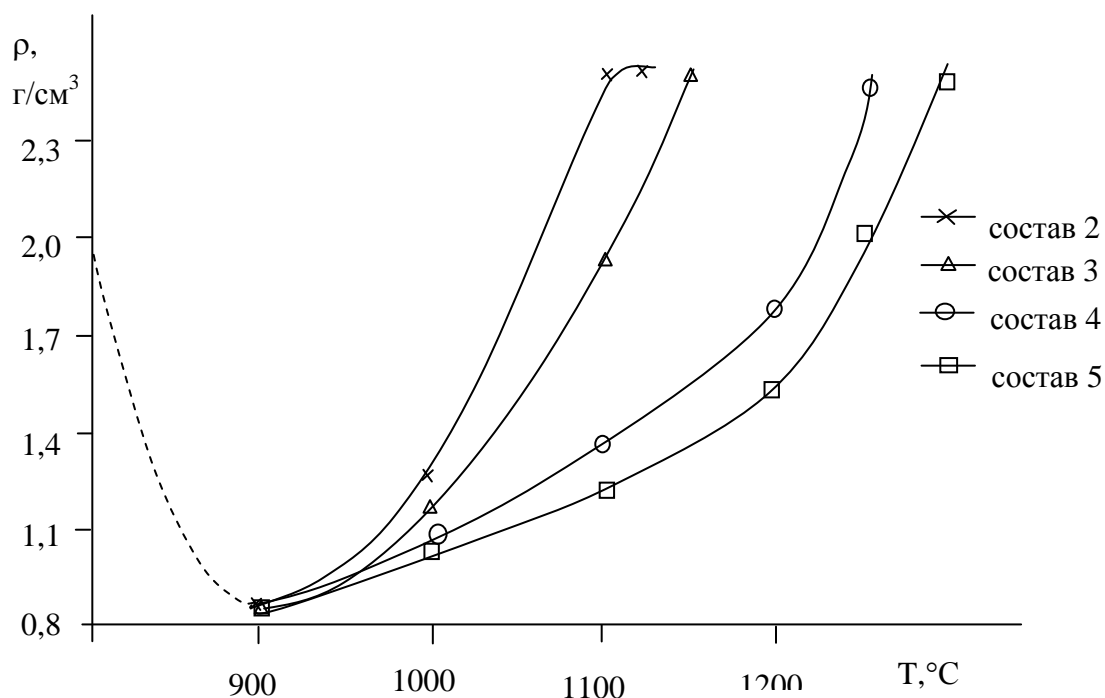


Рис. 2. Зависимость плотности образцов от температуры обжига

Поведение шихт в диапазоне температур от 20 до 1100 °С изучалось при помощи дифференциально-термического анализа (рис. 3).

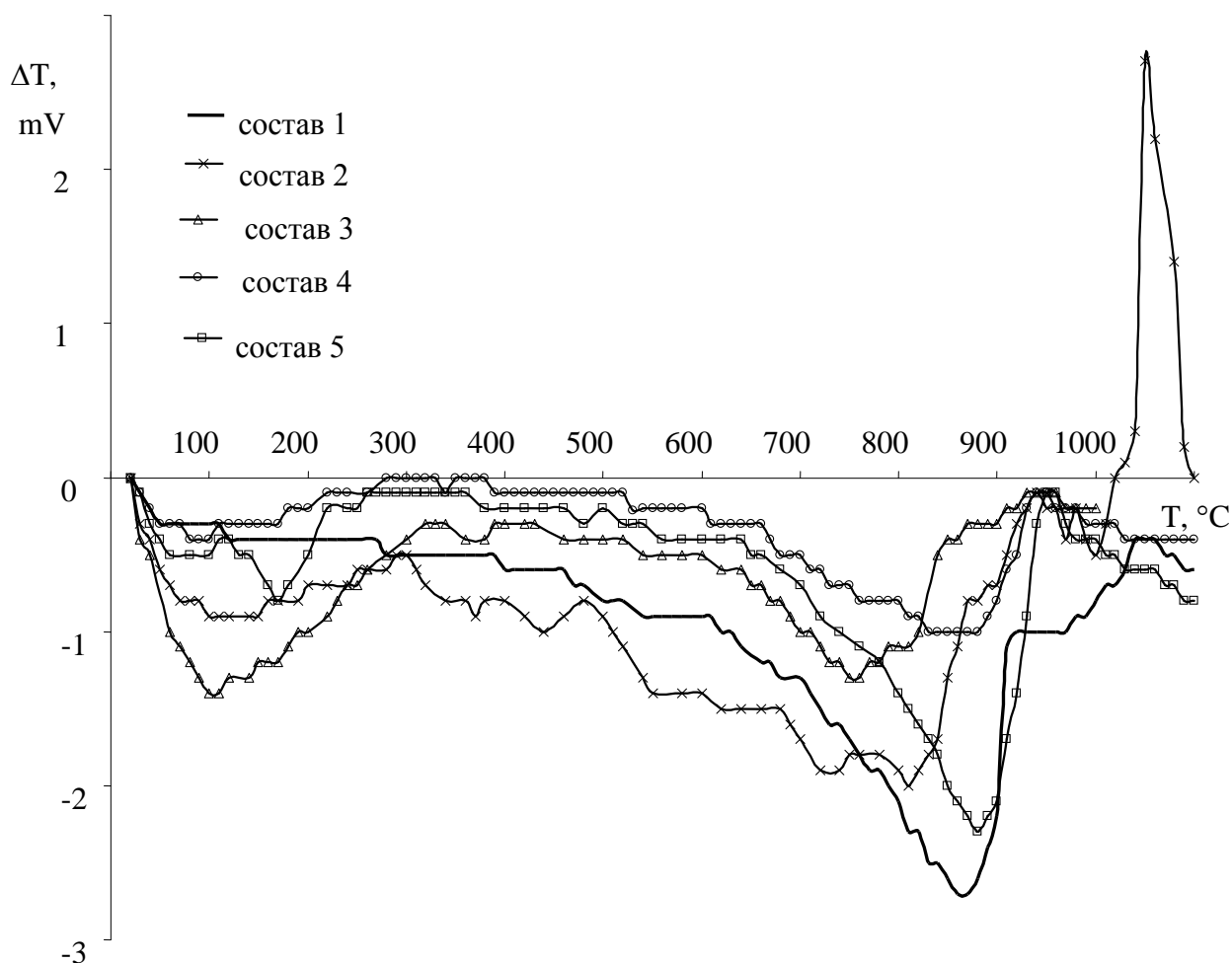


Рис. 3. Дифференциально-термический анализ исследуемых составов

Проанализировав графики, можно сделать следующие выводы.

Наиболее сильное спекающее влияние оказывает добавление 2,5 %  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  к составу 1 (25 % липарит + 75 % известняк), понижая температуру декарбонизации с 870 °С до 720 °С, а температуру образования расплава до 1020 °С; добавление 5 %  $\text{CaF}_2$  снижает температуру декарбонизации до 760 °С, а температуру образования расплава до 1050 °С; минерализаторы фторангидрит и фосфогипс оказывают меньшее влияние на температуру декарбонизации, чем  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  и  $\text{CaF}_2$ .

#### *Библиографический список*

1. Пьячев В.А. Производство и свойства клинкерных цементов: учебное пособие / В.А. Пьячев, Ф.Л. Капустин. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008. 322 с.



## СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОМ РАФИНИРОВАНИИ МЕДИ

Гаева Н.М., Смирнова О.В., Рудой В.М., Останин Н.И.

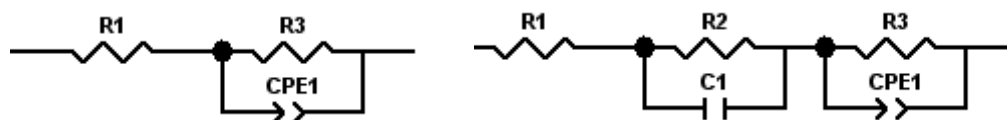
УрФУ

e-mail: [el-chem@mail.ustu.ru](mailto:el-chem@mail.ustu.ru)

Электрохимические технологии, хотя и относятся к одним из самых универсальных, являются достаточно энергоемкими. Например, удельный расход электроэнергии при электролитическом рафинировании меди составляет около 350 кВт·час/т. Сравнительно высокие затраты энергии связаны, в частности, с увеличением напряжения на ванне вследствие введения в электролит поверхностно-активных добавок, которые необходимы для получения меди заданного качества и высокой степени химической чистоты. Концентрация добавок практически на всех предприятиях аналитически не контролируется, что нередко приводит к их передозировке, повышению напряжения на ванне и включению добавок в катодную медь. Работ, посвященных количественному изучению адсорбции и влиянию концентрации ПАВ на качество и чистоту катодной меди, сравнительно мало. В данной работе проведено исследование влияние одной из широко применяемых добавок – желатина, на адсорбируемость и поляризуемость катода при осаждении меди из кислого сульфатного электролита.

Исследования проводили в растворе состава:  $\text{CuSO}_4$  0,70 моль/л и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,53 моль/л (раствор Ч). В качестве добавок использовали хлорид аниона в количестве 40 мг/л (Ч+Cl<sup>-</sup>) и желатин 5 мг/л (Ч+Cl<sup>-</sup>+Ж). Адсорбируемость и влияние на катодную поляризацию исследовали на приборе SOLARTRON 1280C в режиме измерения электродного импеданса и циклической вольтамперометрии. Все измерения проводили в ячейке с медным анодом и медным катодом. При измерении импеданса поляризация составляла – 0,05 В относительно разомкнутой цепи.

Для анализа импедансных измерений использовали два типа эквивалентных схем:



Левая схема описывает поведение межфазной границы в переменном токе в отсутствие добавок, а правая в тех же условиях, но в присутствии добавок.

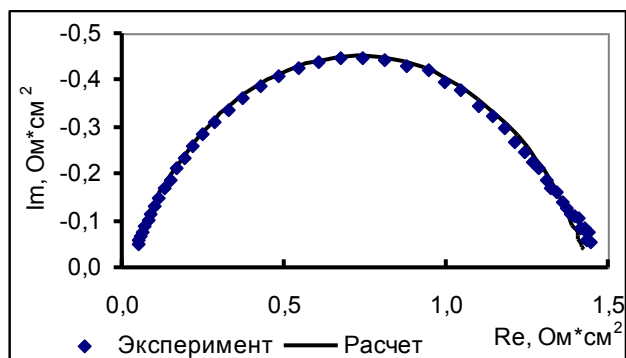
Физический смысл, который можно вложить в электрические эквиваленты этих схем следующие: R1 соответствует омическому сопротивлению измерительной ячейки, которое, в основном, определяется сопротивлением раствора, R3 – сопротивление переноса заряда, отнесенное к единице поверхности электрода, CPE – это элемент постоянной фазы, который может характеризовать, как реактивные, так и активные составляющие электродного импеданса. В ряде случаев он позволяет лишь формально передать форму зависимости импе-

данса электродного процесса от частоты, но нередко его составляющие могут быть интерпретированы содержательно. В частности, в наших исследованиях этот элемент отражает стадию перехода ионов, находящихся вблизи поверхности в адсорбированное состояние. Фактически этот элемент отражает адсорбцию ионов на фрактальной поверхности электрода. В силу обобщенного характера этого элемента он одновременно учитывает поток ионов, обусловленный их разрядом на электроде. Это приводит к формированию элемента с распределенными параметрами. Элементы R2 и C1 являются сосредоточенными параметрами и отражают соответственно сопротивление адсорбции и адсорбционную емкость. Оба элемента учитывают адсорбцию, как ионов хлора, так и желатина. Попытка включения этих элементов в эквивалентную схему, описывающую импеданс медного электрода в чистом растворе, показала, что хотя сумма квадратов отклонений возросла незначительно, но ошибка в определении избыточных элементов составила, 16 % (для R2) и 40 % (для C1).

Ниже приведена таблица средних значений параметров эквивалентных схем, соответствующим растворам различного состава.

Раствор	R1, $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$	R2, $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$	C1, $\text{Ф}\cdot\text{см}^{-2}$	R3, $\text{Ом}\cdot\text{см}^2$	CPE1-T	CPE1-P	Отклонение
Ч	0,0210	-	-	1,474	0,0033	0,722	0,038
Ч+Cl <sup>-</sup>	0,0244	0,0489	0,995	0,368	0,0065	0,721	0,020
Ч+Cl <sup>-</sup> +Ж	0,0215	0,0550	0,527	0,764	0,0078	0,692	0,140

Качество аппроксимации экспериментальных годографов и воспроизводимость в серии однотипных измерений хорошее (рис. 1-3). Лишь для раствора, содержащего желатин наблюдался закономерный временной дрейф параметров импеданса, что связано с изменением во времени активности желатина. Это обстоятельство отмечалось рядом исследователей. Ниже приведены циклические вольтамперные кривые, которые также подтверждают изменение поляризуемости электрода по мере изменения активности желатина (рис. 4).



1. Импеданс в чистом растворе

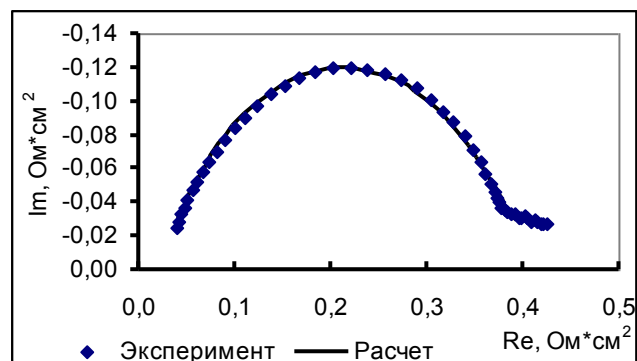


Рис. 2 Импеданс с добавкой хлорид аниона

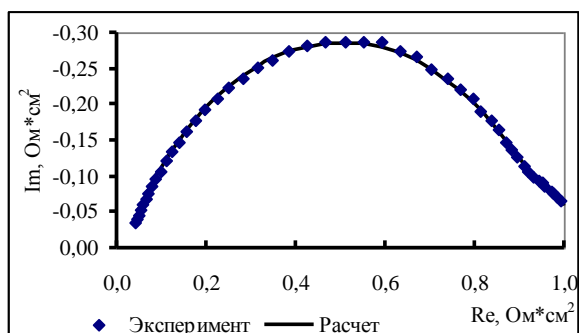


Рис. 3. Импеданс в растворе с добавкой желатина

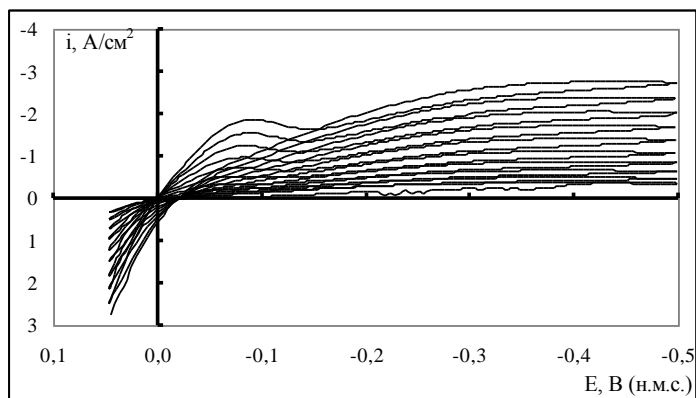


Рис. 4. Циклические вольтамперограммы. Вследствие уменьшения активности желатина, каждая последующая поляризационная кривая смещается в область более высоких плотностей тока.

Воспроизводимость измерений и чувствительность результатов к наличию добавки позволяют надеяться, что с помощью использованных методов можно будет контролировать концентрацию добавки *in situ* непосредственно в электролизной ванне.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ НА ОСНОВЕ АИН С ШИМ

Гиззатуллин Д.В.

Южно-Уральский государственный университет

h3r816@mail.ru

С целью проверки принципов работы преобразователя [1; 2] и его компьютерной модели [3] было проведено экспериментальное исследование характеристик компенсированного двенадцатифазного выпрямительного агрегата с пятой и седьмой гармониками напряжения на конденсаторах и обратной связью (ОС) на основе автономного инвертора напряжения (АИН) с синусоидальной (ШИМ), а также его некомпенсированного варианта. Схема компенсированного выпрямителя показана на рис. 1.

Физическая модель включала два выпрямительных блока 1, 2, состоявших из преобразовательных трансформаторов 3, 4 и диодных мостов 5, 6. Компенсирующее устройство 7 содержало однофазные реакторы 8 с выводом от средней точки и конденсаторные батареи 9 переменной емкости. В качестве нагрузки использовалась активно-индуктивная нагрузка 10 с изменяемым активным сопротивлением. Вход АИН 12 (трехфазный IGBT-мост с обратными диодами 13, входной емкостью 14 и системой управления 15) подключался к цепи постоянного тока выпрямителя, а выход – к согласующему трансформатору 11 через низкочастотный Г-образный фильтр 16. Мощность установки – 10 кВт. Источником питания служила трехфазная сеть напряжением 380 В. Для изме-

рения и снятия кривых токов и напряжений использовались цифровые и аналоговые приборы. Расположение измерительных датчиков показано на рис. 1.

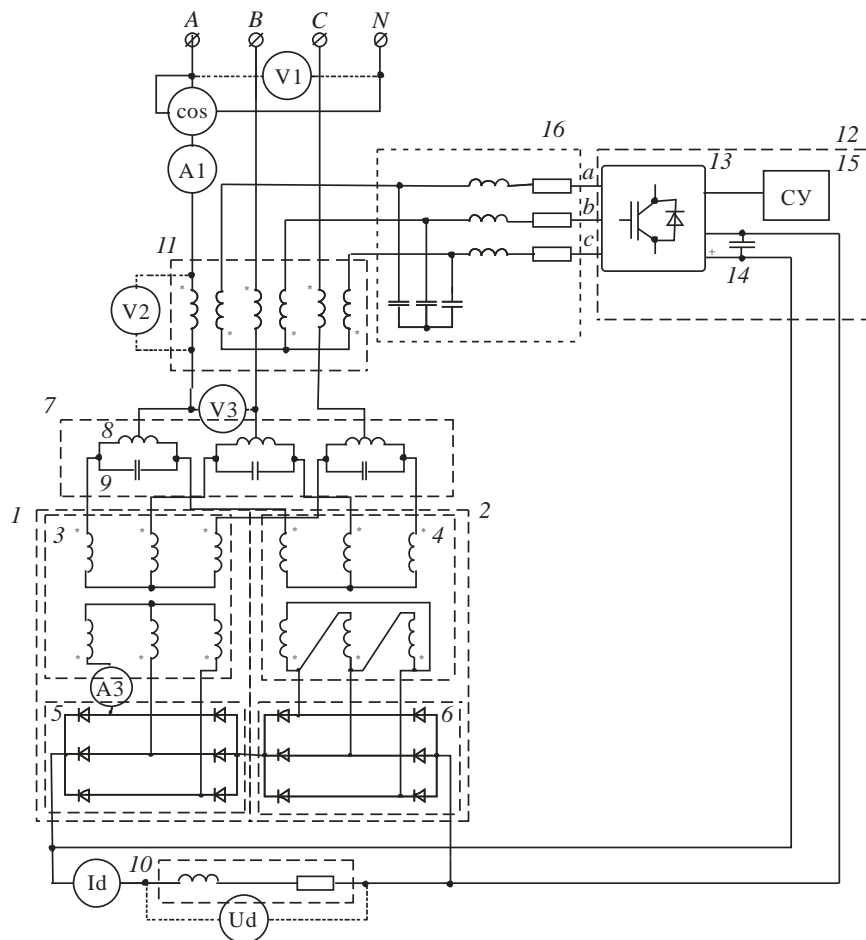


Рис. 1. Схема компенсированного выпрямителя с ОС на основе АИН

Некомпенсированный вариант отличался тем, что компенсирующее устройство 7 отсутствовало, а выводы согласующего трансформатора 11 подключались к входным клеммам преобразовательным трансформаторам 3, 4.

В результате эксперимента получены характеристики компенсированного и некомпенсированного выпрямителей с ОС на основе АИН.

На рисунках представлены регулировочная (рис. 2) и внешние (рис. 3 и 4) характеристики компенсированного выпрямителя при постоянстве нагрузки.

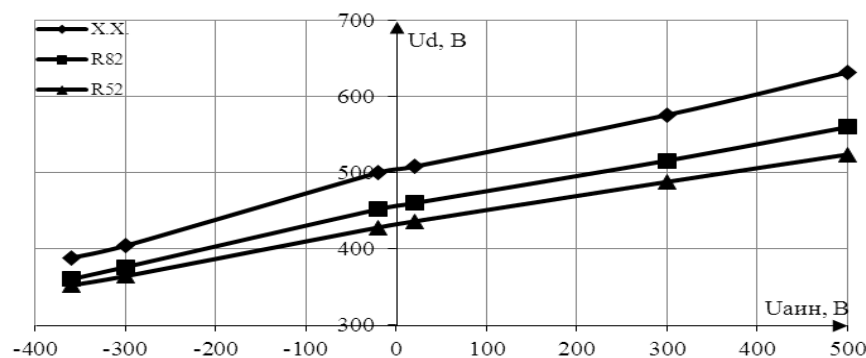


Рис. 2. Зависимость выпрямленного напряжения от амплитуды напряжения на выходе АИН

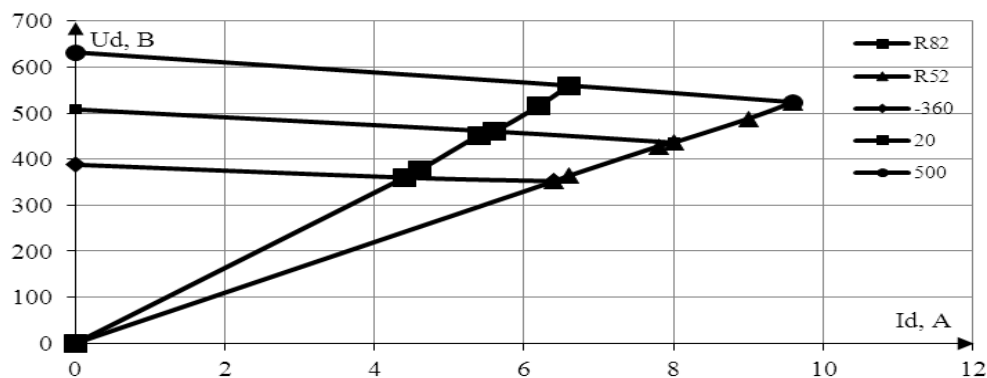


Рис. 3. Характеристика компенсированного выпрямителя при амплитудном регулировании (напряжения сети и добавочное находятся в фазе)

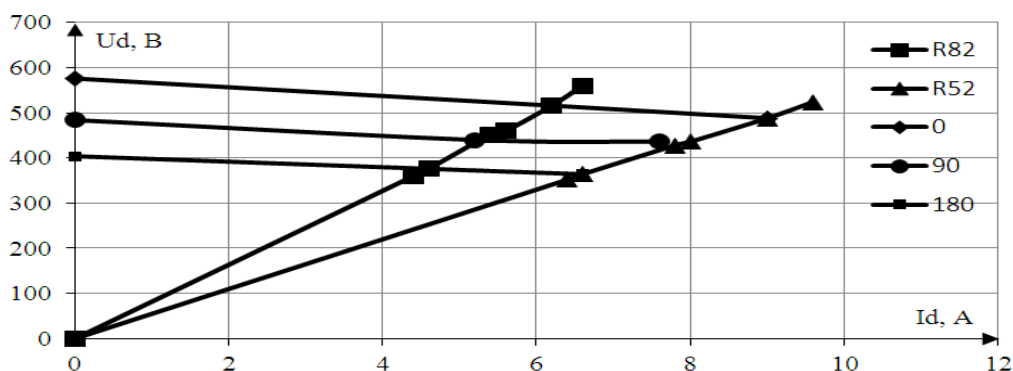


Рис. 4. Характеристика компенсированного выпрямителя при фазовом регулировании (амплитудное напряжение АИН  $U_{\text{АИН}}=300$  В)

Из характеристик следует, что регулирование выходных параметров компенсированного выпрямителя может осуществляться как за счет амплитудного (рис. 3), так и фазового (рис. 4) регулирования, а также совместного регулирования.

На рис. 5 показаны зависимости изменения угла сдвига фаз между первой гармоникой напряжения и тока сети от изменения амплитуды и фазы АИН.

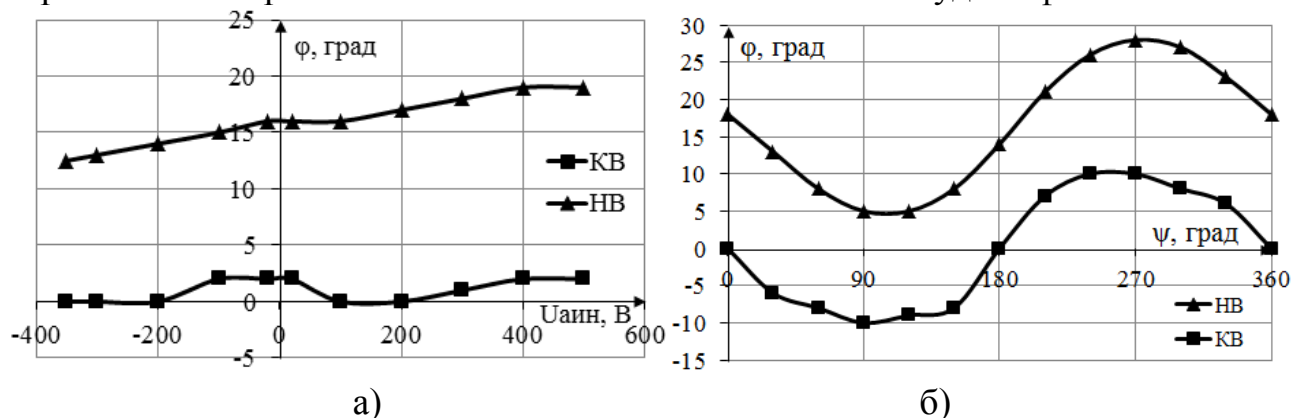


Рис. 5. Изменение угла сдвига фаз между первой гармоникой напряжения и тока сети компенсированного и некомпенсированного выпрямителей при изменении амплитуды (а) и фазы (б) АИН

При амплитудном регулировании компенсированный выпрямитель продолжает работать в режиме компенсации (рис. 5, а), а при фазовом регулирова-

нии, при определенных условиях, появляется возможность выдачи реактивной мощности в сеть (рис. 5, б). В некомпенсированном преобразователе изменение угла сдвига фаз больше чем в компенсированном варианте из-за менее жесткой внешней характеристики (рис. 5, а, б).

Эксперимент показал, что применение внешнего регулирующего устройства не снижает энергетических показателей компенсированного выпрямителя даже при глубоком регулировании и изменении нагрузки.

#### *Библиографический список*

1. Хохлов Ю.И. Энерго- и ресурсосберегающие преобразовательные системы электроснабжения электролизного производства алюминиевой промышленности / Ю.И. Хохлов // Электрика. 2007. № 3. С. 3–9.
2. Гиззатуллин Д.В. Аналитическое исследование электромагнитных процессов в выпрямителе с обратной связью на основе АИН с ШИМ / Д.В. Гиззатуллин // Научный поиск: материалы Первой научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. Челябинск: ЮУрГУ, 2009. С. 239–242.
3. Хохлов Ю.И. Моделирование электромагнитных процессов в компенсированном выпрямителе с обратной связью по напряжению на основе АИН с ШИМ / Ю.И. Хохлов, Д.В. Гиззатуллин, А.Г. Осипов // Вестник ЮУрГУ. Серия Энергетика. 2008. Вып. 9. № 11. С. 32–38.

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭФФЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЭР СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Горемыкина П.Г., Павлова С.О., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
E-mail: [kartavzw@mgn.ru](mailto:kartavzw@mgn.ru)*

Современное мировое производство стали характеризуется огромным экономическим масштабом – более 1,3 млрд т в год. На производство стали расходуется значительное количество материальных и энергетических ресурсов. Это делает актуальными разработки, направленные на энерго- и ресурсосбережение в сталеплавильном производстве.

Основной способ производства стали – кислородно-конвертерный (60...70 %), на втором месте электросталеплавильный (30...40 %).

В кислородно-конвертерном процессе используется большое количество чугуна (75...80 %) энергоемкостью около 1000 кг у.т./т и стальной лом (20...25 %) энергоемкостью 10...30 кг у.т./т. Для снижения общей энергоресурсоемкости получаемой стали необходимо увеличивать долю лома и снижать долю энергоемкого чугуна.

Собственно кислородно-конвертерный процесс не может переработать более 20...25 % лома, что ограничивается энергетикой этой теплотехнологии.

Однако в кислородно-конвертерном процессе образуется значительное количество вторичных ресурсов, которые в настоящее время не используются.

Конвертерный газ в количестве до 80 м<sup>3</sup>/т имеет температуру до 1700 °С и теплоту сгорания около 10 МДж/м<sup>3</sup>. Физическая теплота конвертерных газов составляет 234 МДж/т, химическая энергия 720 МДж/т.

Конвертерный шлак в количестве около 150 кг/т стали имеет температуру до 1700 °С и содержит около 440 МДж/т.

Физическую теплоту конвертерного газа можно эффективно направить на нагрев и плавление стального лома, что может дать до 0,167 т расплава.

Химическую энергию конвертерного газа направлять непосредственно на нагрев и плавление стального лома менее эффективно, так как это может привести к окислению до 50 % железа.

В том случае, если использовать безокислительный промежуточный теплоноситель, то использование химической энергии конвертерного газа может дать еще до 0,514 т расплавленного лома. Самым естественным теплоносителем для этих целей является конвертерный шлак.

Таким образом, использование вторичных энергоресурсов кислородно-конвертерного производства может дать до 0,681 т дополнительного расплава стального лома.

Это означает снижение энергоресурсных затрат максимум в 1,46 раза. Реальное значение будет зависеть от энергоэффективности тепловой схемы процесса, разработка которой является актуальной научной задачей.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗОГРЕВА МАЗУТА В РЕЗЕРВУАРЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ FLOWVISION**

*Гуменников А. А., Варфоломеева О. И., Хворенков Д. А.  
Ижевский государственный технический университет  
[tguug@istu.ru](mailto:tguug@istu.ru)*

Для устойчивой работы мазутных хозяйств теплогенерирующих установок необходимо поддерживать заданную температуру в резервуарах с топливом. Для бесперебойной подачи топлива к котлам необходимо обеспечивать равномерный разогрев мазута во всем объеме резервуара.

Целью численного эксперимента является определение поля температур в расчетной области в различные моменты разогрева топлива. Расчет производится в программном комплексе FlowVision.

Программный комплекс FlowVision предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в технических и природных объектах, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики. FlowVision является интегрированной системой - препроцессор (часть программы, в которой создаётся и редактируется расчётный проект), блок расчета уравнений и постпроцессор (часть программы, в которой анализируются результаты расчета) объединены и работают одновременно. Это позволяет пользователю прово-

дить моделирование и одновременно анализировать результаты, менять граничные условия и параметры математической модели.

В качестве расчетной области рассматривается резервуар с мазутом марки М 100 объемом  $100 \text{ м}^3$ , заполненный на 85%. Начальная температура мазута принимается  $60^\circ\text{C}$  (рекомендуемая температура перекачки мазута из приемных емкостей в основные). Течение в трубе и теплообмен описываются системой уравнений, включающей уравнения Навье-Стокса для несжимаемой жидкости в трехмерной постановке:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \otimes V) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \mu_t)(\nabla V + (\nabla V)^T)) + S;$$

$$\nabla V = 0.$$

Геометрическая модель рассматриваемого резервуара представлена на рис. 1.

При расчете использовалась прямоугольная ортогональная расчетная сетка, шаг которой составил: по оси  $x$  –  $0,072 \text{ м}$ , по оси  $y$  –  $0,083 \text{ м}$ , по оси  $z$  –  $0,082 \text{ м}$ . Вдоль поверхностей с высокими градиентами скоростей и температур проведено локальное измельчение сетки. В качестве начальных условий для расчетных областей установлены параметры:  $t_{\text{нач}}=60^\circ\text{C}$ ;  $p=p_{\text{атм}}$ .

Граничные условия:

- на входе  $V=0,5 \text{ м/с}$ , расход греющего мазута составляет  $G=0,741 \text{ кг/с}$ ;  $t=110^\circ\text{C}$ ;
- на выходе  $dT/dy = 0$ ;  $p = p_{\text{атм}}$ ;
- остальные границы являются адиабатными.

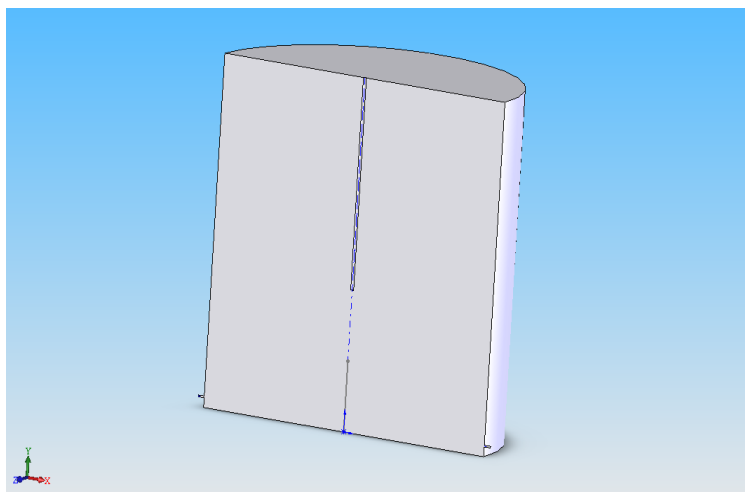


Рис. 1. Расчетная область - резервуар с мазутом



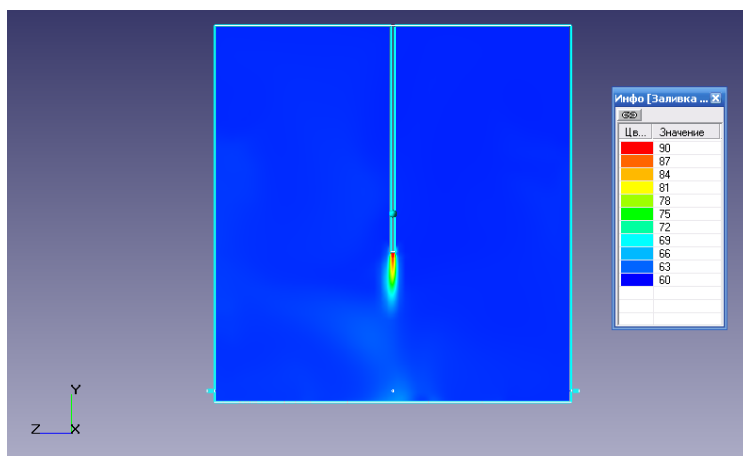


Рис. 2. Поле температур в резервуаре в момент времени  $T = 42$  мин

В результате серии расчетов расчетной области, теплофизические свойства которой задаются свойствами мазута, в разные моменты времени получены поля температур, представленные на рис 2–5. За нулевой период времени принят момент, соответствующий началу разогрева мазута.

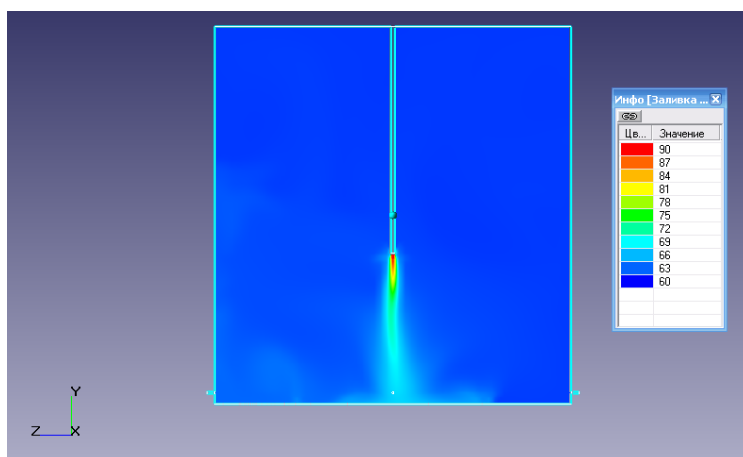


Рис. 3. Поле температур в резервуаре в момент времени  $T = 63$  мин

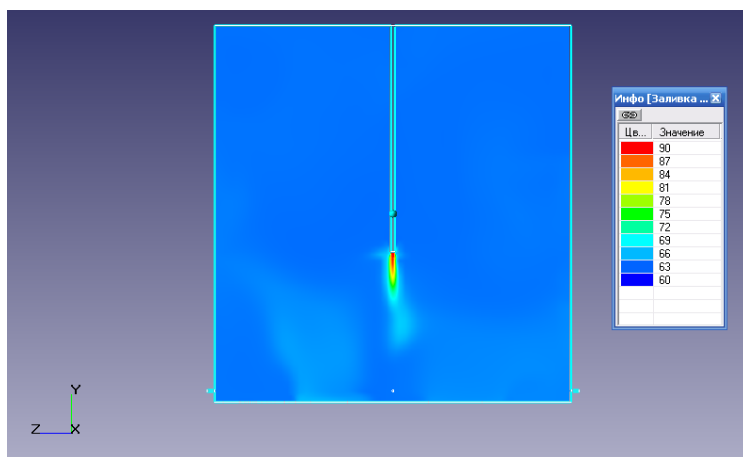


Рис. 4. Поле температур в резервуаре в момент времени  $T = 118$  мин

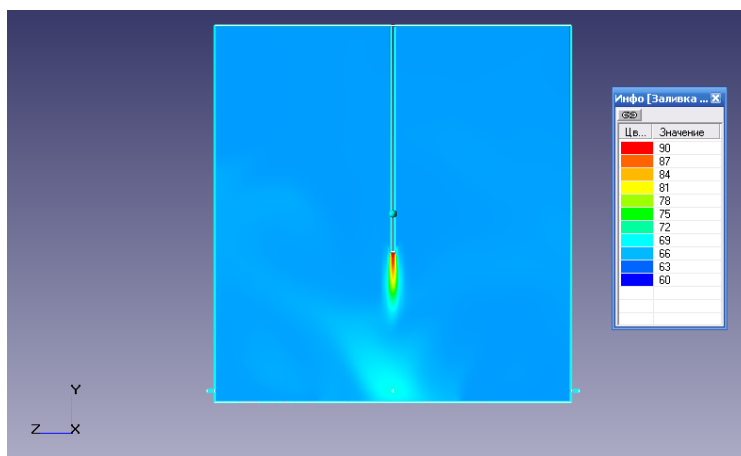


Рис. 5. Поле температур в резервуаре в момент времени  $T=2$  ч. 50 мин

По полученному в результате численного моделирования полю температур в расчетной области можно сделать вывод, что температурное поле в резервуаре равномерно и нет застойных областей.

*Выводы:*

1. Для определения основных проектных показателей работы установок для хранения жидкого топлива имеет смысл пользоваться инженерными методиками расчета как более простыми в применении и дающими достоверные результаты, в то время как при выполнении оптимизации конструкции таких установок имеет смысл использовать методы численного моделирования.

3. Учитывая то, что методы численного моделирования требуют больших затрат, необходимо получить аппроксимирующие зависимости для основных конструктивных (высота и диаметр резервуара, толщина утепляющего слоя) и режимных характеристик (расход греющего и нагреваемого топлива).

#### *Библиографический список*

1. Назмеев Ю.Г. Теплоперенос и гидродинамика в системах хранения жидкого органического топлива и нефтепродуктов / Ю.Г. Назмеев. М.: Издательский дом МЭИ, 2005. 368 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛА ОКУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА**

*Дёмин Ю.К., Картавец С.В.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова*

*e-mail: dyomin.ura@yandex.ru*

В современной промышленности велико применение сжатого воздуха. Только в одной черной металлургии на каждую тонну проката расходуется около пяти тонн сжатого воздуха.

В настоящее время доказано, что энергия, содержащаяся в сжатом воздухе, является более дорогой чем электрическая или энергия первичных двигателей, и ее экономия важна для удешевления производственных процессов. При

этом, известно что при компрессии большая часть энергии затрачивается на сжатие воздуха [4], применение ступенчатого сжатия с охлаждением газа в охладителях между ступенями дает большую экономию в энергии, расходуемой на привод компрессора [5].

Расход энергии пропорционален температуре всаса, поэтому удельные расходы энергии на сжатие больше при более высокой температуре всасываемого воздуха[4]. Но в зимнее время температура окружающей среды ниже температуры воды из пруда охладителя (которую используют для охлаждения воздуха после сжатия в охладителях), а следовательно охлаждение сжатого воздуха до температуры окружающей среды должно дать выигрыш в работе.

В данной работе исследуется возможность использования потенциала окружающей среды для промышленного охлаждения сжатого воздуха с целью вскрытия потенциала энергосбережения.

Так, охлаждение сжатого воздуха до  $-10^{\circ}\text{C}$  (вместо  $+5^{\circ}\text{C}$ ) дает экономию порядка 4 %, до  $-20^{\circ}\text{C}$  – 6 %, до  $-30^{\circ}\text{C}$  – 9 %.

Охлаждение до таких низких температур теоретически возможно.

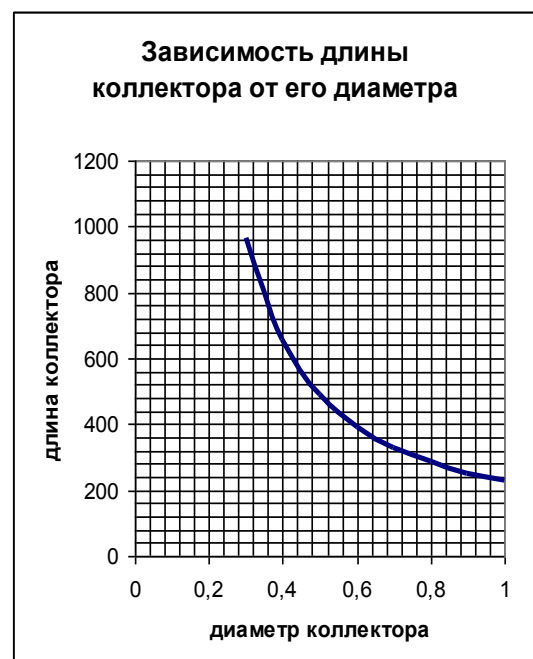
Как возможные варианты рассмотрим охлаждение сжатого воздуха атмосферным воздухом в прямом коллекторе большого диаметра и пучке труб.

Рассмотрен компрессор с массовым расходом 15 кг/с, степенью сжатия 2 и показателем политропического процесса 1,15. На выходе из первой ступени воздух имеет давление 0,2 МПа и температуру  $+15^{\circ}\text{C}$ . Атмосферный воздух имеет давление 0,1 МПа, температуру  $-10^{\circ}\text{C}$  и скорость ветра 5,3 м/с.

В ходе расчётов, с учетом термодинамических свойств сжатого и атмосферного воздуха, были рассчитаны коэффициенты теплоотдачи, теплопередачи и длины труб (исходя из условия достижения температуры сжатого воздуха температуры окружающей среды).

Так при охлаждении сжатого воздуха в одиночном коллекторе большого диаметра (вынужденная конвекция) были получены следующие данные

Диаметр коллектора (м)	Длина коллектора (м)
0,3	967
0,4	655
0,5	491
0,6	393
0,7	330
0,8	285
0,9	253
1	228



Из графика видно, что после диаметра 0,5 м сокращение длины происходит медленнее, по сравнению с ростом диаметра.

При расчете охлаждения сжатого воздуха в пучке труб (вынужденная конвекция) было рассмотрено шахматное расположение труб, в три ряда, при их поперечном обтекании атмосферным воздухом.

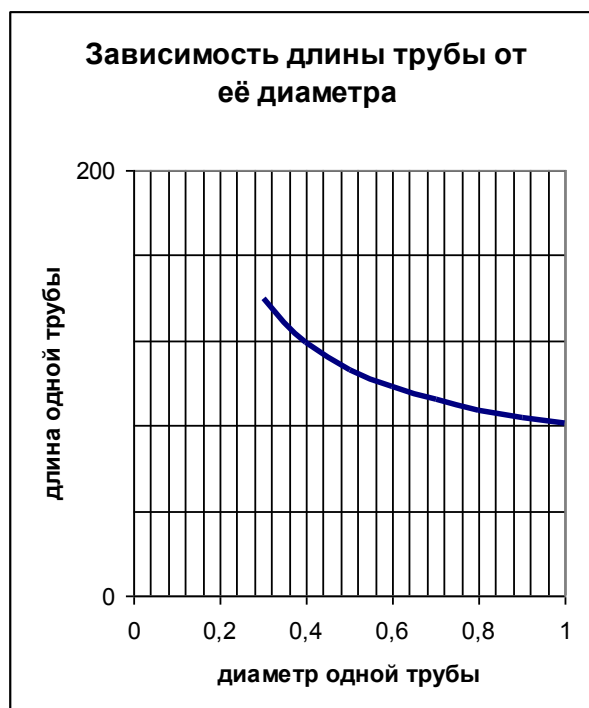
Была определена зависимость длины труб в пучке от их количества, при фиксированном диаметре 0,5 м.

Количество труб в пучке	Длина трубы (м)
9	120
12	106
15	97
18	91



Из графика видно, что после 12 труб в пучке, дальнейшее увеличение числа труб не приводит к значительному сокращению длины труб в пучке.

Диаметр трубы (м)	Длина трубы (м)
0,3	140
0,4	119
0,5	106
0,6	98
0,7	92
0,8	87
0,9	84
1	81



Также была определена зависимость длины труб в пучке от их диаметра, при фиксированном количестве труб – 12 шт.

Из графика видно, что после диаметра 0,5 м сокращение длины происходит медленнее, по сравнению с ростом диаметра.

Необходимо отметить, что рассмотренные случаи являются крайними, с наибольшими габаритами охладителя. Эти размеры могут быть значительно сокращены при использовании промежуточного теплоносителя.

Таким образом, охлаждение сжатого воздуха атмосферным воздухом может приносить (в зимний период) определённый выигрыш в работе по сжатию и снизить потребление пресной воды.

#### *Библиографический список*

1. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко [и др.]. М: Энергоиздат, 1981. 417с.
2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М: МЭИ, 2001. 472с.
3. Тепловые и атомные электростанции: справочник под ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. М: Энергоатомиздат, 1989. 608с.
4. Трубицына Г.Н., Морозов А.П. Энергосбережение при производстве и осушке сжатого воздуха. Магнитогорск: МГТУ, 2007. 58с.
5. Черкасский В.М. Насосы. Вентиляторы. Компрессоры. М: Энергия, 1977. 422с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОГАЗОВОЙ СТРУИ, РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ**

*Дмитриев М.В., Стерхов В.А., Варфоломеева О.И.,  
Попов Д.Н., Плотников Д.А., Хворенков Д.А.  
Ижевский государственный технический университет  
[tguug@istu.ru](mailto:tguug@istu.ru)*

В настоящее время значительно растет количество устройств, использующих струю в качестве рабочего органа. В частности, в технике находят применение устройства, в которых используется *водогазовая* струя. Такие устройства используются для очистки газа от примесей, для растворения или удаления газа из жидкостей и т. д. В частности, было предложено использовать водяную струю с подмесом горючего газа, горение которого на вершине струи позволит получить *новый зрелищный эффект*, который будет интересен публике при проведении и организации различных праздников.

Для получения такого эффекта необходимо устройство, отвечающее требованиям по доставке газа на вершину вертикальной водяной струи. Водяная струя, с горящим на ее вершине газом, получила название «горящий фонтан», а устройство для создания такого нового типа струи – «горящий фонтанный насадок». Предметом данного исследования и явился насадок, с помощью которого возможно достичь наиболее стабильного и полного сгорания газа, транспортируемого водой к вершине водяного фонтана в условиях истечения водогазовой струи в атмосферу.

Как оказалось, создание эффекта «горящего фонтана» возможно в том случае, когда газ доставляется на вершину фонтана непосредственно самой во-

дой с минимальными потерями массы газа по тракту доставки. Исходя из мировой практики, для создания двухфазной струи (вода-газ) был использован насадок, являющийся по своей конструкции эжектором.

Ввиду отсутствия теоретической базы, описывающей движение газожидкостных потоков, пригодной для инженерных расчетов, принят экспериментальный метод исследования проблемы создания фонтанного насадка, позволяющего получить горение газа на вершине водяной струи. Известно, что работа таких устройств зависит от их геометрических параметров (диаметра сопла, диаметра камеры смешения, вылета и др.) [1]. Для решения проблемы разработан пятифакторный план эксперимента [2, 3]. Входными параметрами (факторами) стали: давление воды и газа на входе в насадок, диаметр камеры смешения, диаметр сопла, вылет сопла. Первоначально геометрические параметры насадка приняты характерными для водо-газовых эжекторов [4]. Для проведения эксперимента создана опытная установка (рис. 1) [5]. Рабочими телами экспериментальной установки являются вода хозяйственно-питьевого водопровода и пропанобутановая смесь из баллонов.

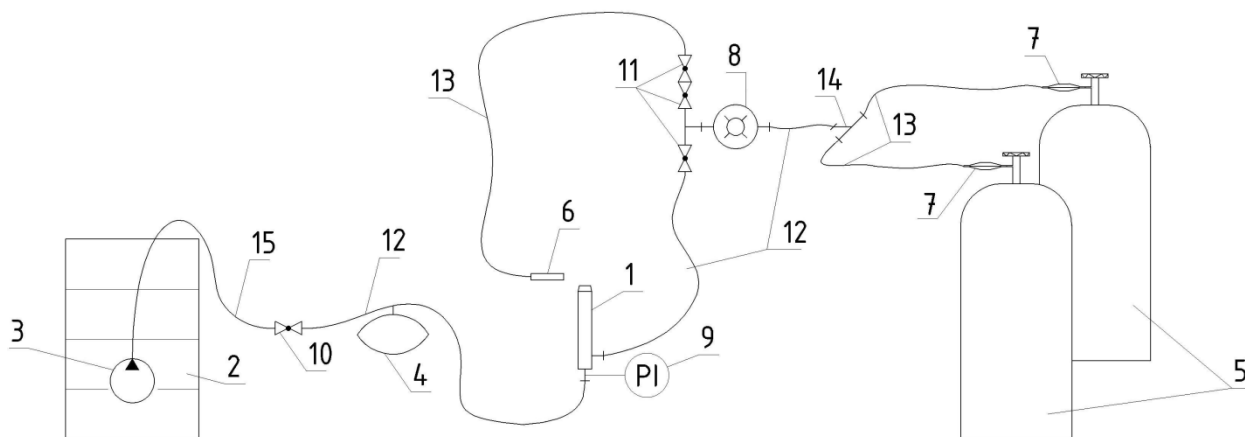


Рис. 1. Экспериментальная установка

1 - экспериментальный фонтанный насадок; 2 - резервуар с водой номинальным объемом 0,2 м<sup>3</sup>; 3 - насос центробежный погружного типа PEDROLLO TOP 3; 4 - бак расширительный мембранный Reflex 8l; 5 - баллон с пропанобутановой смесью емкостью 50 л; 6 - запальное устройство; 7 - регулятор давления РДСГ 1 1,2; 8 - счетчик газа диафрагменный бытовой ВК-G4; 9 - манометр; 10 - кран шаровой Ду = 32 мм; 11 - кран шаровой Ду = 15 мм; 12 - шланг резиновый Ду=12 мм; 13 - шланг резиновый Ду = 10 мм; 14 - тройник; 15 - шланг резиновый Ду=25 мм; 16 - труба из нержавеющей стали Ду = 25 мм

В результате проведенных экспериментов, как и предполагалось, выявлено, что устойчивость пламени и низкая зависимость процесса горения от ветрового воздействия во многом зависит от давления воды и газа, геометрических параметров насадка. При определенных входных параметрах достигнуто довольно стабильное горение газа на вершине водяного фонтана (рис. 2).



Рис. 2. Работа «горящего фонтана»

Для окончательного завершения начатой работы и оптимизации процесса необходимо дополнительно:

- исследовать фазовую структуру струи;
- исследовать условия транспортирования газа водяной струей;
- исследовать зависимость стабильности водогазовой струи от переменных геометрических и физических факторов насадка;
- создать регрессионные зависимости, определяющие параметры водогазовой струи от входных параметров.

Данные, полученные в результате исследования, предполагается использовать для проектирования «горящих фонтанных насадков» в широком диапазоне расходов газа и воды, что отразится на высоте фонтана и его зрелищном эффекте.

### *Библиографический список*

1. CROLL REYNOLDS. STEAM EJECTOR PUMPS AND EJECTORS & STEAM EJECTOR THEORY. CROLL REYNOLDS Precision Engineering for the Processs Industries. [Online] URL: <http://croll.com/pr/content/vetheory.php>.
2. Зедгенидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. М.: Наука, 1976.
3. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1979.
4. Яценко А.Ф., Устименко Т.А. Исследование струи водовоздушного эжектора. Донецк: ДНТУ.
5. Варфоломеева О.И. Отчет о научно-технической работе по договору на создание научно-технической продукции по теме: Разработка горячей фонтанной насадки / О.И. Варфоломеева [и др.]. Ижевск : ГОУ ВПО «ИжГТУ», кафедра «ТГУи Г», 2009.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ОТКЛЮЧЕНИЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКОНАПОРНОЙ ГЭС

*Долганов А.А., Ключев Р.В.*

*Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)*

*г. Владикавказ, РСО-Алания*

*E-mail: kluev-roman@rambler.ru*

Важнейшим аспектом надежного функционирования объектов гидроэнергетической отрасли РФ является исследование устойчивой работы ГЭС при различных аварийных режимах. В РСО-А на протяжении ряда лет ведутся работы по завершению строительства и вводу в эксплуатацию одной из наиболее высоконапорных ГЭС в мире – Зарамагской ГЭС (ЗГЭС). Поскольку ЗГЭС будет являться важнейшим энергетическим объектом Юга России, полностью удовлетворяющим потребности РСО-Алания в электроэнергии, то актуальными представляются вопросы исследования статической и динамической устойчивости работы ЗГЭС [1]. Анализ динамической устойчивости работы генератора ЗГЭС основан на исследовании изменения угла  $\delta$  (угол между векторами ЭДС генератора и напряжением электрической системы) в аварийном режиме (режиме короткого замыкания - КЗ в энергосистеме) и послеаварийном режиме (после отключения КЗ) и расчете ряда параметров, оценивающих динамическую устойчивость работы генератора, в первую очередь, предельного угла отключения КЗ ( $\delta_{\text{откл.пр}}$ ) [2].

Целью расчета  $\delta_{\text{откл.пр}}$  является получение математической модели вида  $t = f(\delta')$  для определения предельного времени отключения КЗ ( $t_{\text{пр}}$ ). Это время соответствует расчетному значению предельного угла отключения КЗ ( $\delta'^{(i)}_{\text{пр}}$ ) и определяет требование к быстродействию релейной защиты (РЗ) и системной автоматики (БАПВ) по условию поддержания динамической устойчивости. Требования к быстродействию РЗ предъявляются на этапах проектирования и эксплуатации.

Для сохранения устойчивости время срабатывания РЗ ( $t_{\text{РЗ}}$ ) в аварийном режиме не должно превышать  $t_{\text{пр}}$ :  $t_{\text{РЗ}} \leq t_{\text{пр}}$ . Значение  $t_{\text{пр}}$  при различных видах КЗ находится по математической модели в виде графика зависимости  $t = f(\delta')$  для угла  $\delta'^{(i)}_{\text{пр}}$  с помощью итерационного метода расчета (метода последовательных интервалов).

Алгоритм построения математической модели зависимости  $t = f(\delta')$  представлен на рис. 1. На рис. 2 приведены графики зависимости  $t = f(\delta')$  для всех видов КЗ.





Рис. 1. Алгоритм построения математической модели зависимости  $\delta = f(t)$

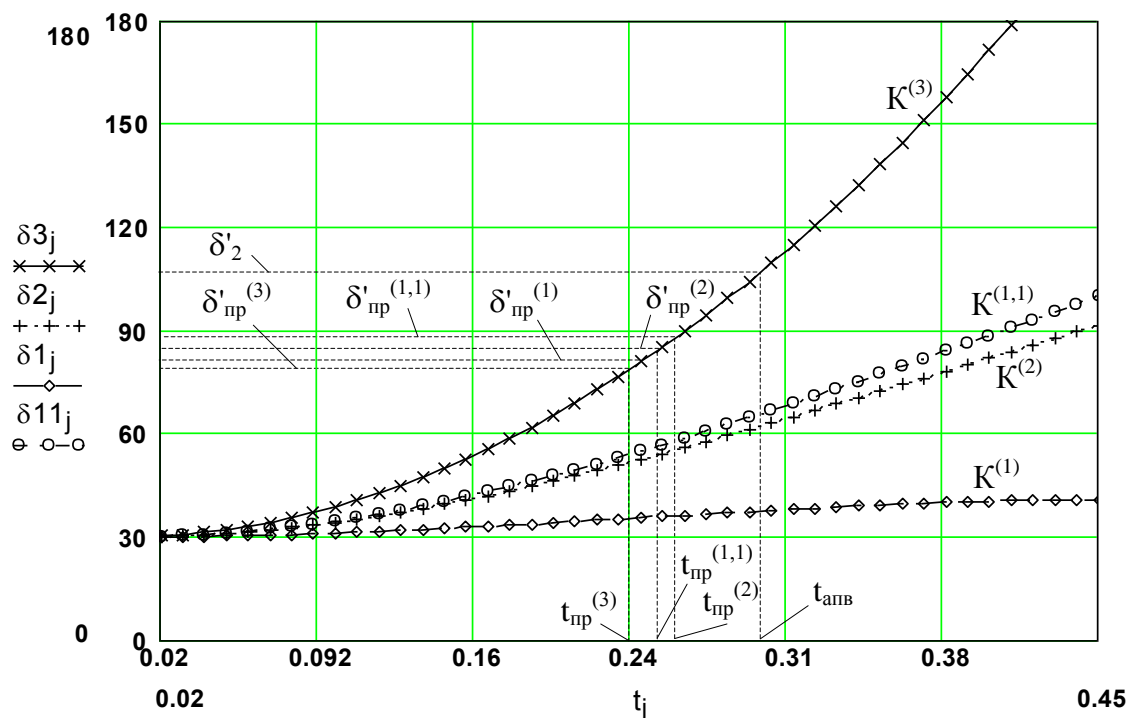


Рис. 2. График зависимости  $\delta(t)$  для разных видов КЗ

Из рис. 2 значения предельного времени отключения КЗ составили: для всех видов КЗ:  $t_{\text{пр}}^{(3)} = 0,24$  с;  $t_{\text{пр}}^{(1,1)} = 0,25$  с;  $t_{\text{пр}}^{(2)} = 0,248$  с;  $t_{\text{пр}}^{(1)} = 0,243$  с.

Из рис. 2 следует, что  $t_{\text{пр.min}} = t_{\text{пр}}^{(3)}$  соответствует режиму трехфазного КЗ. Если  $t_{\text{рз}} < t_{\text{пр}}^{(3)}$ , то при использовании той же релейной защиты динамическая устойчивость работы генератора обеспечивается при всех видах КЗ.

Исследования проводились в рамках использования гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-2576.2009.8.

### Библиографический список

1. Клюев Р.В., Долганов А.А. Исследование статической устойчивости высоконапорной ГЭС при работе синхронных генераторов с различными регуляторами возбуждения // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009 г., научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых 14-18 декабря 2009 г. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 81-83.
2. Васильев И.Е., Клюев Р.В., Кочиев П.Г. Исследование и расчет динамической устойчивости Головной ГЭС ЗАГЭС при больших возмущениях в энергетической системе «Севкавказ-энерго». Владикавказ, 2006. Депонир. в ВИНТИ № 1606-В2006. 32 с.

## РАЗМЕЩЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Ерошенко С.А., Карпенко А.А., Паздерин А.В.

УрФУ

[stas\\_ersh@mail.ru](mailto:stas_ersh@mail.ru)

Современная электроэнергетика России имеет ряд серьезных недостатков. Во-первых, это низкий коэффициент полезного использования энергетических ресурсов. Во-вторых, это высокий уровень потерь электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. Проблема энергосбережения сегодня становится все более актуальной.

Данные факты привели к появлению новой концепции: созданию распределенных энергосистем, то есть построению независимых от централизованных сетей генерирующих мощностей способных значительно повысить эффективность использования энергоресурсов.

Задача оптимизации местоположения и мощности источников распределенной генерации (РГ) является одной из первоочередных, подлежащих тщательному рассмотрению на стадии проектирования [1]. Корректно выбранная точка подключения к сети и мощность агрегата могут улучшить работу сети и обеспечить дополнительные экономические стимулы, как для потребителей, так и для поставщиков.

Инвестиции. В рыночных условиях важнейшую роль играет финансовая составляющая [2]. Инвестиции представлены следующим коэффициентом:

$$C^k = 1 - \frac{C_n^k}{C_{\max}^k}, \quad (1)$$

где  $n$  – величина, характеризующая значение мощности генерирующей установки,  $C_n^k$  – стоимость генерирующего агрегата мощности  $n$  с установкой,  $C_{\max}^k$  – максимальные инвестиционные средства для реализации проекта.

Потери активной и реактивной мощности. Источники РГ оказывают влияние на потери электрической мощности в сети [3]. Нижеприведенные коэффициенты отражают потери активной и реактивной мощности.

$$Lp^k = 1 - \frac{\operatorname{Re}\{\Delta S^k\}}{\operatorname{Re}\{\Delta S^0\}}, \quad Lq^k = 1 - \frac{\operatorname{Im}\{\Delta S^k\}}{\operatorname{Im}\{\Delta S^0\}}, \quad (2)$$

где  $\Delta S^k$  – потери полной мощности в распределительной сети  $k$ ,  $\Delta S^0$  – потери полной мощности в распределительной сети без источника РГ.

Напряжения. Еще одной выгодой, которую можно извлечь при помощи внедрения устройств РГ в сеть, является улучшение параметров напряжений в сети. Сформулируем данный критерий с точки зрения максимального снижения напряжения узла относительно напряжения головной подстанции [4].

$$U^k = 1 - \max \left( \frac{|U_0| - |U_i^k|}{|U_0|} \right)_{i=1}^{NN-1} \quad (3)$$

Здесь  $U_0$  - комплексное напряжение головной подстанции,  $U_i^k$  - комплексное напряжение узла  $i$  распределительной сети  $k$ ,  $NV$  - число узлов.

Допустимые токи по линиям. Ввиду того, что РГ располагается вблизи нагрузки, в некоторых участках линий ток может снизиться, таким образом, разгружая линию электропередачи и увеличивая запас по пропускной способности.

$$I^k = 1 - \max_{m=1} \left( \frac{|I_m^k|}{I_m^{\text{доп}}} \right)^{NL}, \quad (4)$$

где  $I_m^k$  - ток участка  $m$  распределительной сети  $k$ ,  $I_m^{\text{доп}}$  - допустимый ток участка  $m$ ,  $NL$  - число участков сети.

Многокритериальный показатель. Для оценки работы распределительной сети по вышеприведенным критериям вводится многокритериальный показатель.

$$\begin{aligned} F(x) &= \lambda_1 f_1(x) + \lambda_2 f_2(x) + \lambda_3 f_3(x) + \lambda_4 f_4(x) + \lambda_5 f_5(x) = \\ &= \lambda_1 C^k + \lambda_2 Lp^k + \lambda_3 Lq^k + \lambda_4 U^k + \lambda_5 I^k, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\sum_{i=1}^5 \lambda_i = 1,0$ .

В формуле (5) весовые коэффициенты введены для того, чтобы задать соответствующую значимость каждому критерию. В табл. 1 приведены возможные значения весовых коэффициентов.

Таблица 1

Весовые коэффициенты				
$C^k, \lambda_1$	$Lp^k, \lambda_2$	$Lq^k, \lambda_2$	$U^k, \lambda_4$	$I^k, \lambda_5$
0,40	0,30	0,05	0,2	0,05

Таким образом, многокритериальный показатель численно описывает влияние источника РГ с заданной мощностью в заданной точке подключения к сети на технические эксплуатационные характеристики системы, включая экономический показатель, представляющий собой инвестиционный капитал.

Пример. Для иллюстрации рассмотрим простейшую схему ветви радиальной распределительной сети, представленную на рисунке.

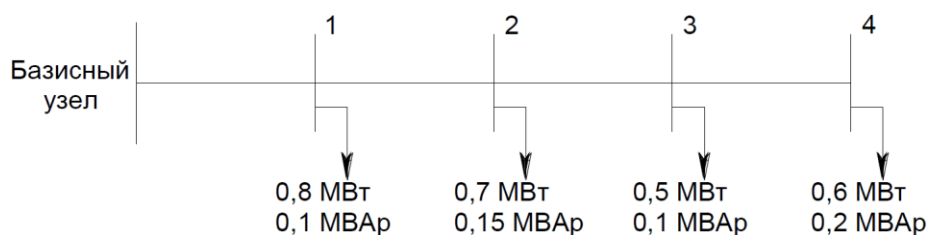


Схема сети

Напряжение базисного узла равно  $\dot{U} = 10 \angle 0^\circ$  кВ. Сопротивления участков фидера приняты одинаковыми и равными  $Z = 0,8 + j0,25$  Ом.

Коэффициенты, отражающие влияние РГ на сеть, совместно с инвестиционной составляющей рассчитываются путем последовательного размещения во всех возможных узлах данной сети генерирующих агрегатов мощностью 300, 600 и 1200 кВт (для всех агрегатов  $\cos \varphi = 1$ ).

Удельная стоимость одного киловатта установленной мощности принимается равной для всех агрегатов. Максимальный инвестиционный капитал эквивалентен стоимости источника РГ мощностью 1200 кВт.

Расчет проводится перебором возможных вариантов размещения источника РГ. Для расчета потокораспределения, потерь мощности, токов участков и узловых напряжений использовался программный пакет RASTR.

Базовый режим (без РГ) продемонстрировал следующие показатели:

$$C_n^k = 0, \Delta P = 0,107 \text{ МВт}, \Delta Q = 0,03 \text{ МВАр}, U_{\min} = 9,4 \text{ кВ}, I_{\max} = 160 \text{ А}.$$

Приведем наилучшие с точки зрения значений многокритериального показателя варианты с источником РГ мощностью 300, 600 и 1200 кВт соответственно. Данные сведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов						
Р <sub>ген</sub> , кВт	№ узла	ΔP, МВт	ΔQ, МВАр	I <sub>max</sub> , А	U <sub>min</sub> , кВ	F(x)
300	4	0,077	0,025	141	9,6	0,5987
600	4	0,054	0,02	123	9,7	0,5708
1200	4	0,028	0,01	88	9,8	0,4733

Из таблицы видно, что наибольшее значение многокритериального показателя имеет вариант установки источника РГ мощность 300 кВт. В первую очередь это объясняется тем, что инвестиционный критерий в общей сумме имеет самый значимый весовой коэффициент. На практике весовые коэффициенты могут быть распределены иначе.

Рассмотренный пример является упрощенным и приведен для того, чтобы продемонстрировать применимость и актуальность использования данного класса устройств для решения специфических задач энергокомпаний.

Выводы.

1. На сегодняшний день РГ представляет инвестиционно-привлекательное и эффективное решение задачи энергосбережения.

2. Задача оптимизации является многокритериальной и имеет большую размерность, что, прежде всего, обусловлено сложностью топологии существующих распределительных сетей. Очень важна как постановка оптимизационной задачи, так и оптимизационный алгоритм ее решения.

#### Библиографический список

1. Borbely A.M., Kreider J.F. Distributed Generation. New York: CRC Press, 2003.
2. Hoff T.E., Wenger H.J., Farmer B.K. Distributed generation. An alternative to electric utility investments in system capacity // Energy Policy. 1996. Vol. 24. № 2. P. 137-147.

3. Frase P., Morita S. Distributed generation in liberalised electricity markets // Tech. Rep. (International Energy Agency, Paris, Cedex, France). 2002.
4. Blazewicz S. Reliability and distributed generation // Tech. Rep. (Arthur D. Little, Inc.). 2000.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СВЕТОДИОДНОЙ ЛАМПЫ НА ОСНОВЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

Завьялов А., Велькин В.И.

УрФУ

*aes1@mail.ustu.ru*

Лампы на светодиодах находят применение в самых различных областях: светодиодные фонари, автомобильная светотехника, рекламные вывески, светодиодные панели и индикаторы, бегущие строки и светофоры и т.д. В последнее время набирает популярность светодизайн интерьеров с использованием светодиодов [1].

К преимуществам светодиодов можно отнести:

- низкое энергопотребление - не более 10 % от потребления при использовании ламп накаливания, и не более 35 % при использовании люминесцентных ламп;
- длительный срок службы - до 100 000 часов;
- высокий ресурс прочности - ударная и вибрационная устойчивость;
- чистота и разнообразие цветов, направленность излучения;
- регулируемая интенсивность;
- низкое рабочее напряжение;
- экологическая и противопожарная безопасность;
- светодиоды не содержат в своем составе ртути и почти не нагреваются.

В США, согласно государственному проекту «*Next Generation Lighting Initiative*», поставлена цель с 2010 года полностью перейти на технологии LED, а до 2020 года разработать LED нового поколения и довести световой поток до 200 лм/Вт.

В Японии разработан проект «Свет XXI века», цель которого довести световой поток до 120 лм/Вт, сократив тем самым государственный расход электроэнергии на 20 %.

В Тайване утвержден проект, согласно которому уже в 2010 году прекращается выпуск обычных ламп, а в 2012 году вводится полный запрет на их продажу.

В странах Евросоюза запрет на продажу обычных ламп введен уже с 2009 года. В Южной Корее проект «Распространение LED освещения» предусматривает к 2015 году замену обычных ламп на светильники LED на 30 %.

В России тоже взят курс на свертывание производства ламп накаливания и внедрение светодиодных технологий.

В настоящее время многие фирмы-изготовители светодиодов - и зарубежные, и отечественные - включились в своеобразное соревнование по разработке и производству приборов белого свечения, обладающих возможно боль-

шей яркостью при том же рабочем токе. Это приводит к тому, что в продаже появляются все более яркие светодиоды, а их цены стремительно падают.

Работы по совершенствованию схем и конструкций светодиодных светильников проводятся и в Уральском федеральном университете.

При усовершенствовании типовой схемы светодиодной лампы была поставлена задача сглаживания тока для уменьшения его пульсаций, отрицательно влияющих на освещение и восприятие глазом человека [2].

В предлагаемой к рассмотрению схеме установлены двадцать ярких белых светодиодов (EL1 - EL20) с прозрачным корпусом диаметром 10 мм, китайского производства яркостью 10 кд.

Доработкой стандартной схемы является введение резистора R4 сопротивлением 3,5 кОм для ограничения тока. Данный резистор должен выполнять ограничение тока при запуске лампы (рис. 1).

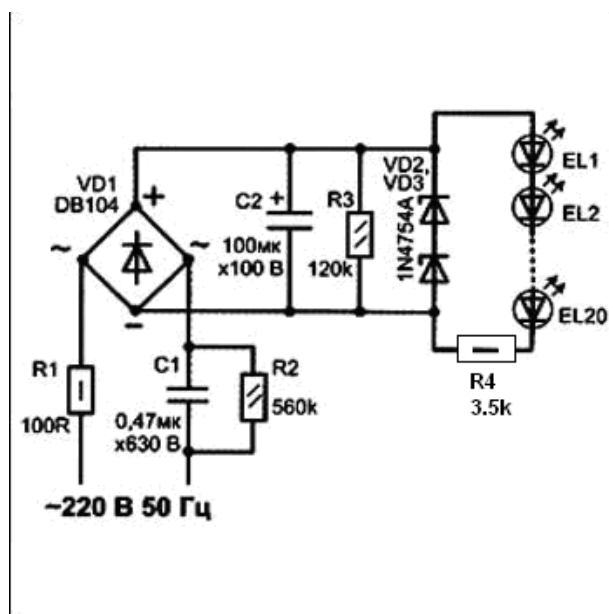


Рис.1. Принципиальная схема управления светодиодной лампой

Основные элементы устройства — диодный мост VD1 и конденсаторы C1, C2. Первый из них — балластный, его емкость выбрана такой, чтобы ток через светодиоды не превышал 26 мА. Основное назначение конденсатора C2 - сглаживать пульсации напряжения, выпрямленного мостом VD1.

Все детали лампы смонтированы на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1 мм. Детали (за исключением конденсаторов) установлены на свободной от печатных проводников стороне платы. Диодный мост, стабилитроны и резисторы монтируют первыми. Светодиоды устанавливают в последнюю очередь. Конденсаторы располагают со стороны печатных проводников, причем для C1 предусмотрены две пары контактных площадок.

В зависимости от габаритов примененного конденсатора (в нашем случае взят отечественный К73-17) используют одну из пар. Стоимость комплектую-

щих элементов для производства данной лампы составила 200 рублей. При массовом производстве лампа будет дешевле. За базовую основу взят цоколь от люминесцентной лампы с цоколем E27 (рис. 2).

Готовую лампу можно вернуть в стандартный патрон любого осветительного прибора - настольной лампы, бра, торшера. Оставаясь практически холодной, она дает ровный немигающий белый свет яркостью, вполне достаточной для чтения на расстоянии 1...2 м от светильника. При этом мощность, потребляемая «лампой» от сети, не превышает 4,5 Вт.

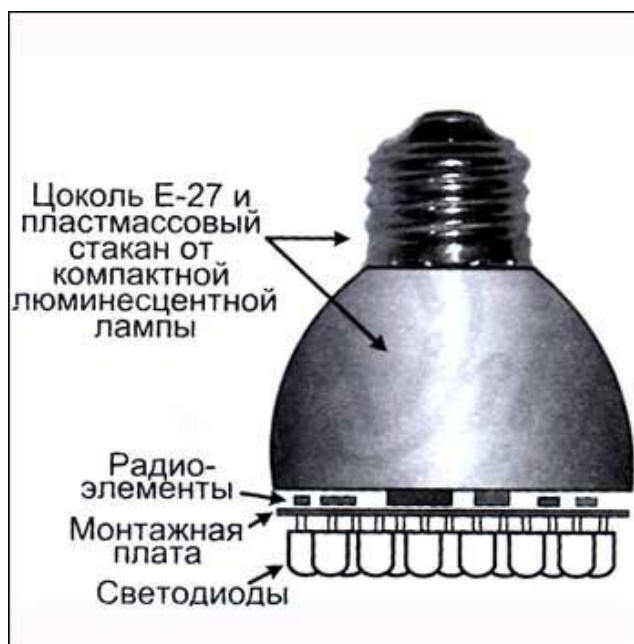


Рис. 2. Элементы конструкции LED-светильника

К преимуществам данного решения относятся как отработанность базовой схемы на радиэлектронных устройствах, так и незначительные изменения в технологии при производстве ламп. Доработка позволяет использовать светодиодную лампу в любых условиях, так как она менее чувствительна к перепадам напряжения и может работать в диапазоне от 160 до 250 вольт, что проверено при тестовых испытаниях.

К недостаткам данного решения можно отнести последовательное включение светодиодов. При выходе одного из светодиодов вся схема становится неработоспособной. Устранить этот недостаток можно введением двух параллельных цепочек светодиодов, что в свою очередь приведет как к увеличению светоотдачи, так и повышению энергопотребления до 7...8 ватт.

#### *Библиографический список*

1. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: Физматлит, 2008. 496 с.
2. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.



# **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЕНСИРОВАННЫМИ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫМИ АГРЕГАТАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

*Запорожец Е.П., Омарова Е.С., Коробейщикова Д.С.  
Южно-Уральский государственный университет  
zaporozhets333@yandex.ru*

Применение диодных симметричных компенсированных выпрямительных агрегатов (СКВА) на тяговых подстанциях электрического транспорта позволяет решить ряд важнейших проблем, непосредственно связанных с ресурсо- и энергосбережением. В том числе:

- обеспечить полную компенсацию реактивной мощности непосредственно в месте ее потребления, что существенно снижает потери электрической энергии в СЭС;

- обеспечить саморегулирование реактивной мощности при переменном графике нагрузки электрического транспорта, что исключает режимы недо- и перекompенсации;

- установить минимальную мощность компенсирующего устройства за счет отсутствия в коммутирующих конденсаторах напряжения основной частоты и работы его на частотах 250...350 Гц;

- исключить коммутационную аппаратуру в компенсирующем устройстве, поскольку последнее автоматически выводится из работы при снижении нагрузки до нуля (например, в ночные часы для горэлектротранспорта);

- повысить жесткость внешней характеристики СКВА, что обеспечивает поддержание напряжения в контактной сети на необходимом уровне независимо от числа транспортных единиц в рабочей зоне и исключает динамическое воздействие на оборудование электрического транспорта при переходе его с участка контактной сети с одним напряжением на участок с другим напряжением [1].

Вместе с тем, дальнейшее повышение эффективности диодных преобразователей связано с разработкой оптимальных способов управления такими агрегатами. В работе исследуются три основных способа управления, каждый из которых имеет свою приоритетную область применения.

Первый способ реализуется применением регулирования выпрямленного напряжения агрегатов с помощью РПН преобразовательных трансформаторов. Характерными особенностями его являются отсутствие фазового управления вентилями, что обеспечивает поддержание высоких энергетических показателей агрегатов. Причем при снижении выпрямленного напряжения и сохранении выпрямленного тока коэффициент сдвига первой гармоники напряжения и тока питающей сети повышается. Это обусловлено возрастанием относительной величины коммутирующего напряжения конденсаторов по сравнению с коммутирующим напряжением трансформатора. Главным недостатком такого управления является дискретность регулирования выпрямленного напряжения.

Этот недостаток устраняется при использовании второго способа, основанного на применении тиристорного управления выпрямительно-инверторной

группой вентилей в несимметричном компенсированном выпрямительном агрегате (НКВА) по схеме на рис. 1 [1]. В докладе приведены результаты исследования данного способа управления путем моделирования электромагнитных процессов в НКВА в пакете MATLAB. Результаты моделирования представлены на рис. 2 и 3.

Рис. 1. Принципиальная схема несимметричного компенсированного выпрямительного агрегата с тиристорной выпрямительно-инверторной группой

Третий способ основан на применении векторного управления СКВА [2]. Он основан на последовательном включении дополнительного управляемого по фазе и амплитуде источника напряжения в первичную обмотку трансформатора. Дополнительное напряжение формируется с помощью автономного инвертора напряжения с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией. В докладе приводятся первые результаты исследования этого способа применительно к тяговой нагрузке.

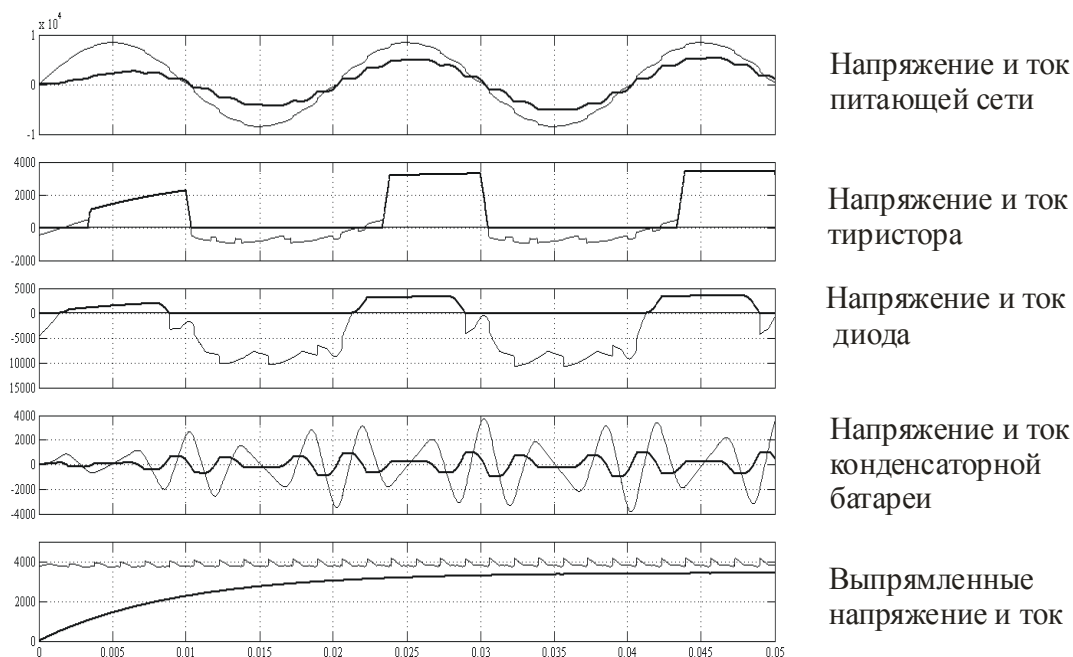


Рис. 2. Электромагнитные процессы в выпрямительном агрегате при работе тиристорной группы в выпрямительном режиме

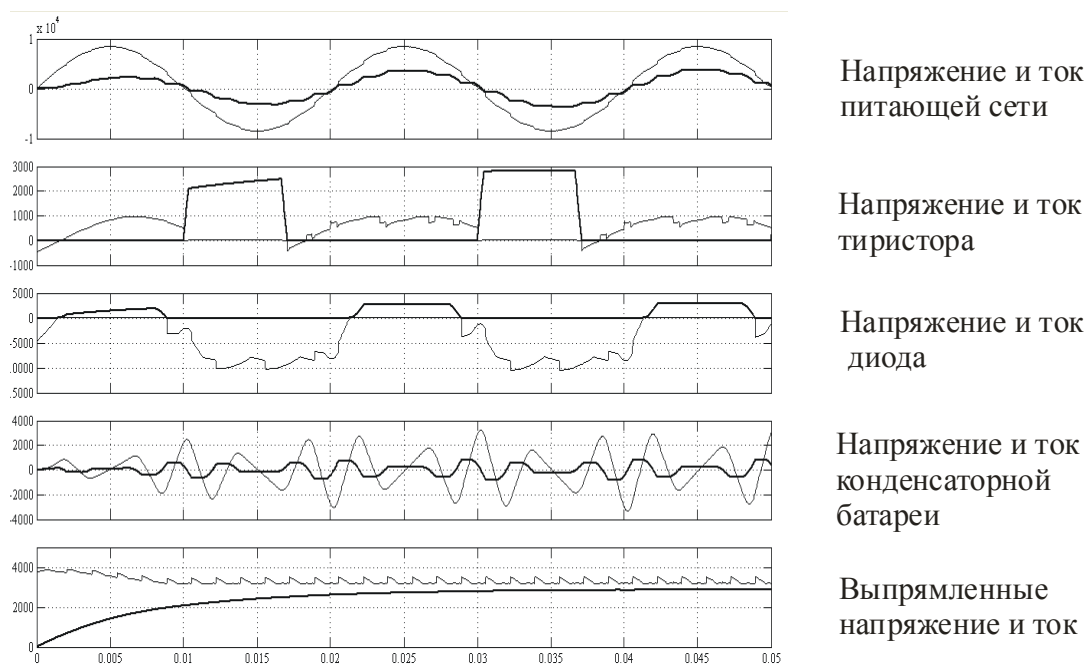


Рис. 3. Электромагнитные процессы в выпрямительном агрегате при работе тиристорной группы в инверторном режиме

### *Библиографический список*

1. Хохлов Ю.И. Компенсированные выпрямители с фильтрацией в коммутирующие конденсаторы нечетно-кратных гармоник токов преобразовательных блоков. Челябинск: ЧГТУ, 1995. 355 с.
2. Пат. 2333589 (РФ). Способ управления многофазным выпрямительным агрегатом / Ю.И. Хохлов // Бюл. изобр. 2008. № 25.

# **КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОММУНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ПРИМЕРЕ НИЖНЕВАРТОВСКОГО РАЙОНА ХМАО-ЮГРА**

*Иванкина Е.С., Ануфриев В.П., Силин В.Е.*

*ООО «Уральский центр энергосбережения и экологии», УрФУ  
mail@ucee.ru*

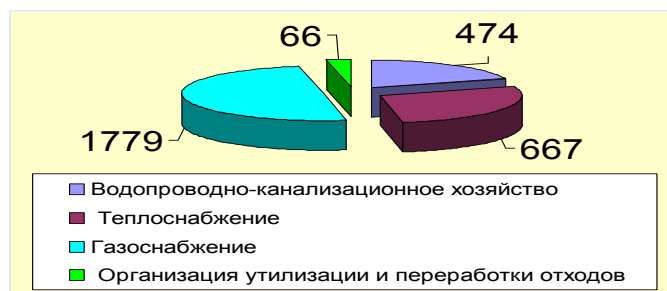
В соответствии с Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности Российской Федерации...», все муниципальные образования обязаны подготовить и утвердить свои Программы энергоэффективности с целью получения государственного финансирования на реализацию энергосберегающих мероприятий. Администрация Нижневартовского района ХМАО озаботилась этим вопросом еще в 2008 году. Уникальность программы в том, что она охватывает все проблемы коммунальной инфраструктуры (газоснабжение, теплоснабжение, водопроводно-канализационное хозяйство; организация утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов) и может послужить необходимым ориентиром для других МО.

В настоящее время практически все предприятия Нижневартовского района сталкиваются с проблемами нерационального использования энергоресурсов из-за низкой надежности и неэффективности функционирования систем коммунальной инфраструктуры, наличием аварийных и полностью изношенных объектов коммунального хозяйства, и, как следствие, ухудшение экологического состояния территории. К тому же коммунальная инфраструктура испытывает острую потребность в инвестициях, которые необходимы для роста экономической активности, обновления и модернизации основных фондов и внедрения прогрессивных энергосберегающих технологий в соответствии с современными требованиями к качеству, оказываемых коммунальных услуг, и улучшения экологической обстановки в районе.

При выполнении данной работы специалисты УЦЭЭ, в сотрудничестве с МО Нижневартовский район использовали инструменты, позволяющие анализировать все системы коммунальной инфраструктуры, выявили проблемы в области функционирования и развития коммунального хозяйства района в целях повышения уровня надежности, качества и эффективности работы коммунального энергетического комплекса.

Разработанная Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры муниципального образования (далее – Программа) – программа повышения энергоэффективности, она также является:

- инструментом комплексного управления и оптимизации развития систем коммунальной инфраструктуры;
- возможностью привлечения средств федерального бюджета и средств инвесторов (в т. ч. – по международным программам);
- механизмом эффективного управления муниципальными расходами.



Распределение финансовых затрат на реализацию мероприятий по системам коммунальной инфраструктуры для Нижневартовского района, млн. руб.

В Программе разработан комплекс производственных, социально-экономических и других мероприятий, увязанных по задачам, ресурсам и срокам осуществления, которые направлены на обеспечение энергоэффективных решений проблем в области функционирования и развития всех систем коммунальной инфраструктуры.

Принцип разработки Программы для каждой из систем коммунальной инфраструктуры, состоял из следующих разделов:

- Анализ состояния системы коммунальной инфраструктуры.
- Разработка мероприятий для решения, выявленных проблем в области функционирования коммунальной инфраструктуры.
- Определение перспектив развития экономики района и выявление приоритетных, наиболее привлекательных и эффективных мероприятий.
- Определение объемов и источников финансирования на реализацию мероприятий.

Разработка мероприятий Программы велась не только по системам коммунальной инфраструктуры, но и для каждого населенного пункта района, что позволило выявить приоритетность и этапы реализации мероприятий в разрезе отдельного населенного пункта.

- Предложены и согласованы с администрацией района энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на сумму ~ 2,9 млрд. руб.
- Основная доля инвестиций (50 %) приходится на увеличение использования попутного газа для тепло- и газоснабжения.
- Наименее затратные по реализации мероприятия по работе с ТБО (3 % от инвестиций).
- Мероприятия позволяют реализовать до 25 % потенциала энергосбережения района.
- Комплексный подход обеспечивает реализацию синергетического эффекта и в значительной степени повышает качество жизни населения района

### *Библиографический список*

1. Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа - Югра на 2008-2015 годы / В.П. Ануфриев, В.Е. Силин, Е.С.Иванкина [и др.] ООО «Уральский центр энергосбережения и экологии». Екатеринбург, 2009. 216 с.

2. Башмаков И.А. Проблемы развития энергетики Москвы // Энергосбережение. 2006. № 6. С. 64-68; 2007. № 1. С. 60-63.
3. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения. Екатеринбург: Автограф, 2009. 528 с.

## **РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ РЕЖИМОВ НАГРЕВА ЗАГОТОВОК В ЩЕЛЕВОЙ ПЕЧИ**

*Иванов Д.А., Сеничкин Б.К.*

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова  
ural-e-s@mail.ru*

*Введение.* Технология производства крупных винтовых пружин включает процесс оттяжки или вальцовки концов заготовок перед последующим нагревом и навивкой. Для этой цели концы заготовок нагревают до 900...1150 °С в небольших щелевых печах. Нижний рекомендуемый диапазон нагрева ограничен опасностью возникновения недогрева и образованию трещин на оттянутых концах заготовки вследствие хрупкости стали при обработке давлением. Превышение верхнего предела может привести к браку пружины из-за перегрева металла [1].

Кузнечные печи, к классу которых относятся и щелевые печи, являются крупными потребителями газообразного топлива. На нужды кузнечно-термического производства расходуется 3...3,5 % общего потребления топлива в стране. В то же время эффективность использования топлива в нагревательных и термических печах к настоящему времени невысока. Особенно низки показатели использования топлива в печах машиностроения. В частности, энергетический КПД щелевых печей кузнечно-прессового производства составляет 2,9...14,3 % [2].

Для повышения энергетической эффективности процесса нагрева заготовок и снижения тепловых потерь была разработана и запатентована щелевая двухсекционная нагревательная печь оригинальной конструкции [3].

Разработанная печь позволила за счет изменения конструкции сократить тепловые потери, а применение сводового отопления увеличило скорость и равномерности нагрева металла, с уменьшением расхода топлива при работе печи в режиме холостого хода [4].

*Постановка задачи и методика исследования.* Основная задача исследований состоит в определении рациональных (с точки зрения энергопотребления) режимов работы печи при нагреве заготовок в двух секциях.

Исследования производились с помощью математического моделирования. Объект моделирования – технология нагрева стального цилиндрического прутка в щелевой нагревательной печи. В постановке задачи прутки с диаметром 19-36 мм и производительность 150...180 шт./ч, последовательно проходят 2 зоны печи, в каждой из которых установлена сводовая горелка марки ГР-85. Воздух в горелки подается после стального рекуператора типа «термо-блок» с температурой 200 °С. Регулирование горелок происходит независимым образом, что позволяет создавать в каждой зоне различный тепловой поток для

нагрева заготовки. Математическое модель основана на допущении, что теплообмен в печи происходит в системе трех тел: газ-кладка-металл. Для определения результирующих тепловых потоков на заготовку и свод печи использован метод сальдо-потоков с совместным решением уравнений теплового баланса печи на основании селективно-серой модели излучения газа. Математическое моделирование произведено с учетом влияния процессов обезуглероживания и окисления металла [5].

*Результаты исследования.* Нагрев заготовки в зависимости от диаметра и производительности может происходить как при двух работающих горелках (в двух секциях печи), так и при одной работающей горелке (во второй по ходу движения заготовки секции).

Определяющим параметром нагрева заготовки в одной или двух секциях печи является расход газа на плоскопламенную горелку. Горелки марки ГР работают в пределах регулирования 25...100 % от номинального значения, т.о. если для нагрева заготовок с заданной производительностью расход газа на одну горелку превышает максимально допустимый предел регулирования, то нагрев осуществляется в двух секциях.

При нагреве заготовок в двух секциях (при относительно большой производительности) общий КПТ печи увеличивается с уменьшением конечной температуры нагрева заготовки в первой секции (рис. 1). Таким образом, с целью снижения тепловых потерь, рационально понижать температуру металла на выходе первой секции. Лимити-

рующими обстоятельства при этом являются расход природного газа в горелке второй секции.

При снижении конечной температуры нагрева заготовки в первой секции происходит снижение расхода газа в этой секции. Одновременно с этим снижается средняя температура кладки в первой секции. Во второй секции тепловая нагрузка увеличивается, повышается средняя температура кладки, как следствие увеличиваются тепловые потери излучением и теплопроводностью кладки из второй секции в первую. Однако, поскольку эти тепловые потоки все равно остаются в пределах рабочей камеры, то они не снижают общий КПТ печи.

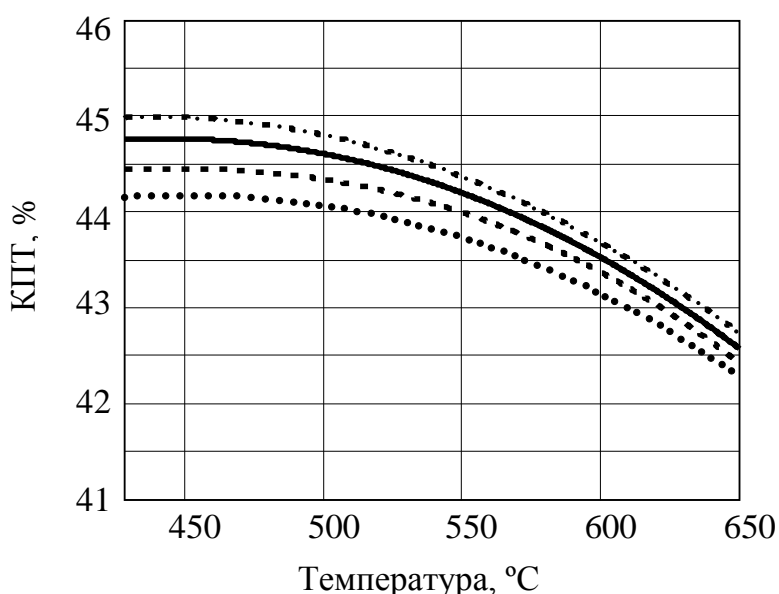


Рис. 1. КПТ печи в зависимости от конечной температуры нагрева заготовки в первой зоне. Диаметр заготовки 30 мм, конечная температура нагрева заготовки 950 °C. Производительность:

- ..... — 180 прутков/ч (367,6 кг/ч);
- — 170 прутков/ч (347,2 кг/ч);
- — 160 прутков/ч (326,8 кг/ч);
- .-.- — 150 прутков/ч (306,3 кг/ч)

При повышении конечной температуры нагрева заготовки в первой секции увеличивается как температура внутри первой секции, так и средняя температура во всей печи. Увеличение средней температуры кладки в печи интенсифицирует тепловые потери и процессы окисления и обезуглероживания стали (рис. 2).

На основании проведенных исследований составлены технологические карты рациональных режимов работы печи при заданной производительности. Наилучший энерго- и ресурсосберегающий эффект дает совмещение умеренного нагрева в первой секции и форсированного нагрева во второй секции, что позволяет кроме увеличения КПД печи снизить глубину обезуглероженного слоя металла и уменьшить окисление стали за счет снижения времени пребывания заготовки при высоких температурах.

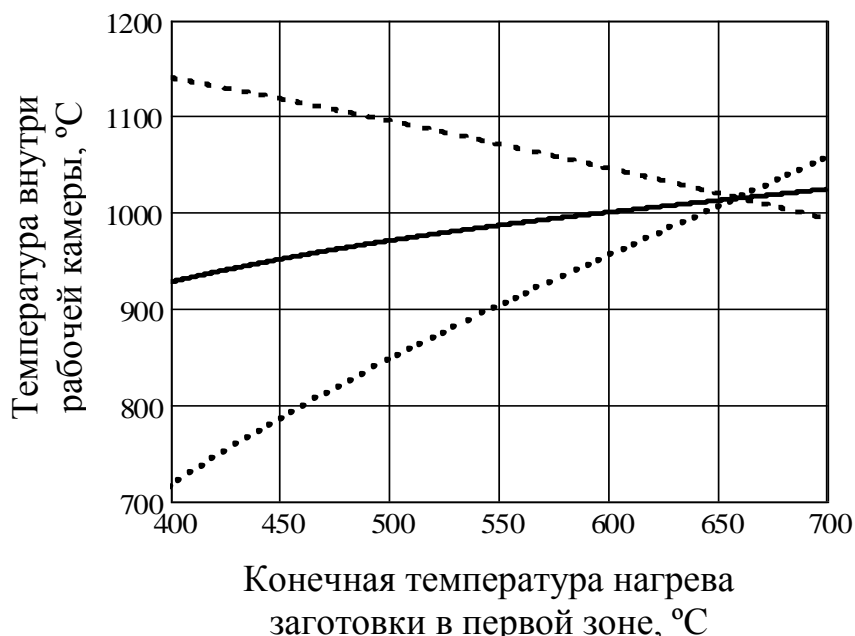


Рис. 2. Температура внутри рабочей камеры печи в зависимости от конечной температуры нагрева заготовки в первой зоне: ..... — первая секция печи; - . - . — вторая секция печи; — — среднее значение температуры в секциях. Диаметр заготовки 30 мм, конечная температура нагрева заготовки 950 °C. Производительность 180 прутков/ч (367,6 кг/ч)

### Библиографический список

1. Батанов М.В., Петров Н.В. Пружины. М.: Машиностроение, 1968. 216 с.
2. Сорока Б.С. Топливо- и материалосберегающая технология в процессах нагрева и термообработки металла. М.: ВНИИЭгазпром, 1986. 59 с. (Обз. информ. Сер. Использование газа в народном хозяйстве. Вып. 4).
3. Патент на полезную модель 64330 РФ, МПК F27B 9/00, C21D 9/00 Нагревательная щелевая печь / Сеничкин Б.К., Коноплев А.Д., Иванов Д.А.; Оpubл. 27.06.2007, БИПМ № 18. С. 879–880.
4. Иванов Д.А., Сеничкин Б.К. Исследование режимов работы двухсекционной щелевой нагревательной печи // Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: материалы 11-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов / Под общ. ред. Б.К. Сеничкина. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 169–170.
5. Коновалов А.В., Муйземнек О.Ю. Математическая модель окалинообразования и обезуглероживания металла в процессе нагрева // Металлы. 2000. № 4. С. 40–43.



## К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ НА БАЗЕ ЛИНЕЙНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Исангулова А.Б., Маркин Н.Е., Коняев А.Ю.

УрФУ

E-mail: decan@etf.ustu.ru

Значительные резервы энерго- и ресурсосбережения кроются в совершенствовании вспомогательных технологий вторичной цветной металлургии. В частности, широкое применение при переработке металлосодержащих отходов и при сортировке лома цветных металлов могут находить электродинамические сепараторы, работающие по принципу линейных асинхронных двигателей (ЛАД). Извлекаемые из смесей материалов немагнитные проводящие тела играют при этом роль вторичного элемента ЛАД.

Конструкции сепараторов могут отличаться способом подачи сепарируемых материалов в рабочую зону и отвода из нее продуктов разделения. Наиболее часто применяются электродинамические сепараторы, в которых сепарируемые материалы подаются в рабочую зону по ленте конвейера. Линейные индукторы при этом устанавливаются под (над) лентой таким образом, что извлекаемые проводящие предметы перемещаются в поперечном направлении и собираются сбоку от конвейера. Такая конструкция позволяет встраивать сепаратор в готовые технологические линии и предпочтительна при разделении непроводящей и проводящей фракций. Первая остается на конвейере, вторая сбрасывается с него. В ряде случаев более удобна конструкция сепаратора с подачей материала по наклонной плоскости. В такой установке появляются дополнительные возможности по регулированию процесса подачи материала (выравнивание материала, уменьшение толщины слоя и т.п.) и выбору конструктивных параметров (размеры плоскости подачи, угол ее наклона, размеры индукторов и др.).

В реальных процессах сепарации на извлекаемые проводящие тела помимо электромагнитных сил действуют конкурирующие механические силы (гравитации, трения, динамического сопротивления среды и др.) величина и направление которых зависят от конструкции электродинамического сепаратора и способа подачи материала. На стадии проектирования сепараторов представляет интерес определение требуемых удельных электромагнитных усилий с учетом указанных конкурирующих сил, геометрических размеров и механических параметров устройств.

В общем случае уравнение динамики движения извлекаемого проводящего тела имеет вид:

$$\bar{F}_{\text{эм}}(V) - \bar{F}_{\text{сопр}}(V) = m_2 \frac{d\bar{V}}{dt}. \quad (1)$$

Входящая в (1) сила  $F_{\text{сопр}}$  является равнодействующей всех механических конкурирующих сил. В общем случае  $F_{\text{эм}}$  и  $F_{\text{сопр}}$  зависят от скорости, и дифференциальное уравнение (1) является нелинейным. Его решение, а значит опре-

деление параметров движения извлекаемых частиц, возможно лишь в простейших случаях. В то же время на практике конкурирующие механические силы зависят от многих случайных величин и точное решение уравнения (1) на стадии проектирования теряет смысл. Поэтому рассмотрим решение задачи при следующих упрощающих допущениях:

- скорость перемещения частиц много меньше синхронной скорости бегущего магнитного поля ( $V_2 \ll V_0$ ), поэтому электромагнитная сила при движении частиц может считаться постоянной, равной пусковому усилию;
- сила сопротивления не зависит от скорости (например, сила трения частиц о поверхность подающей ленты конвейера).

При таких допущениях сила, действующая на извлекаемую частицу, постоянна, частица совершает равноускоренное движение, а уравнение (1) принимает вид:

$$F_{эм} - F_{сопр} = m_2 \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (2)$$

где  $m_2$  – масса извлекаемой проводящей частицы.

Задача о расчете электромагнитной силы, действующей на проводящее тело ограниченных размеров, решается предварительно. В УрФУ разработана математическая модель и методика такого расчета (Электротехника. 1995. № 10; Электротехника. 1998. № 5 и др.). При заданных значениях  $F_{эм}$  уравнение (2) решается относительно механических параметров установки. Возможно и обратная постановка задачи: при заданных механических параметрах установок (размеры, коэффициент трения и др.) находится электромагнитное усилие, необходимое для сепарации.

Например, для случая подачи материала по ленте конвейера и установке индукторов под (над) лентой получено выражение вида:

$$F_m = \frac{2 \cdot B_k \cdot V_k^2}{L_u^2} + k_{mp} \cdot g, \quad (3)$$

где  $F_m = F / m_2$  – удельное электромагнитное усилие или начальное ускорение (Н/кг или м/с<sup>2</sup>);  $B_k$ ,  $V_k$  – ширина ленты и скорость конвейера;  $L_u$  – ширина линейного индуктора;  $k_{mp}$  – коэффициент трения частиц о ленту;  $g$  – ускорение земного притяжения.

При подаче материала по наклонной плоскости варьируются такие параметры, как: угол наклона плоскости подачи ( $\alpha$ ), расстояние, проходимое пластиной до индуктора ( $L_0$ ), ширина индуктора ( $L_u$ ), расстояние от индуктора до приемников продуктов разделения ( $L_n$ ), при подаче материала на наклонную плоскость с конвейера учитывается его скорость ( $V_k$ ). Одним из важных параметров определяющих характеристики установки является коэффициент трения ( $k_{тр}$ ), изменяя величину которого можно учесть не только свойства самой поверхности, но и противодействие других механических сил. Величина сил со-

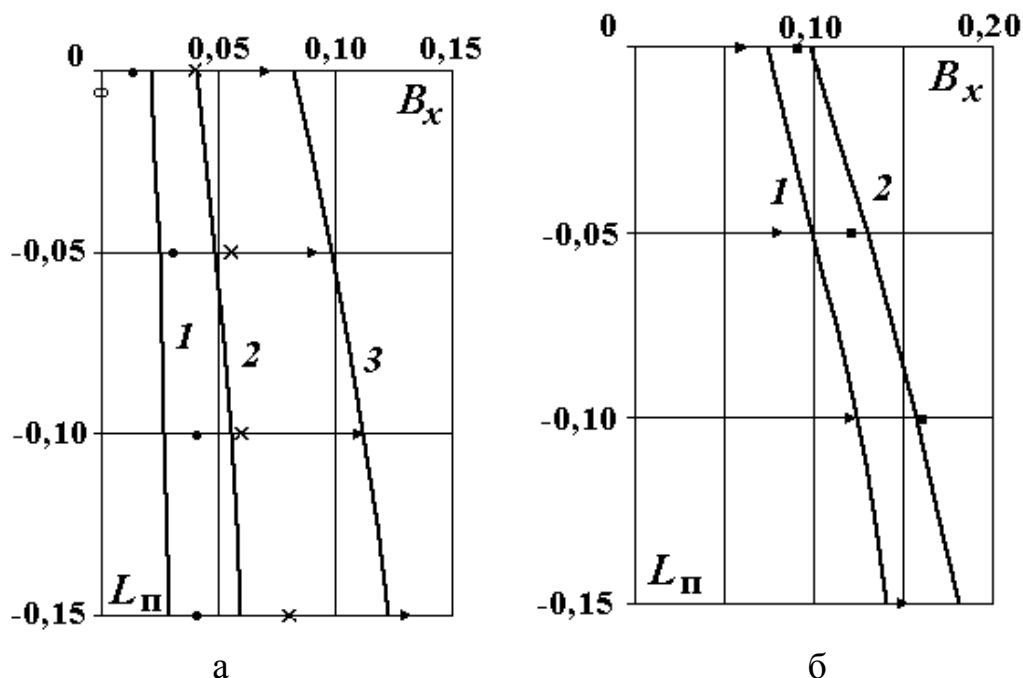
противления и значение коэффициента трения могут определяться экспериментально и задаваться в техническом задании на проектирование.

Для такого случая авторы получили выражения, связывающие удельное электромагнитное усилие с указанными выше механическими параметрами установки, а также с величинами поперечного перемещения извлекаемых проводящих предметов  $B_{и}$  (под индуктором) и  $B_{п}$  (за индуктором), которые определяют траекторию движения проводящих предметов по плоскости:

$$B_u = (F_m - k_{mp} \cdot g \cdot \cos \alpha) \cdot \frac{t_u^2}{2}, \quad (4)$$

$$B_n = [F_m \cdot t_u - g \cdot k_{mp} \cdot (t_u + t_n) \cdot \cos \alpha] \cdot \frac{t_n}{2}. \quad (5)$$

В (1) – (2) входят значения времени пребывания извлекаемых проводящих предметов под индуктором ( $t_{и}$ ) и на плоскости за индуктором ( $t_{п}$ ), определяемые по заданным значениям механических параметров установки ( $L_0, L_{и}, L_{п}, \alpha, k_{тр}, V_k$ ). Апробация полученных выражений при расчетах экспериментальных установок показала приемлемые результаты. На рис. 1 для опытной установки приведены расчетные (линии) и экспериментальные (точки) траектории движения извлекаемых проводящих пластин разной формы и размеров: квадратных (1 – сторона квадрата 10 мм, 2 – 15 мм, 3 – 20 мм) и круглых (1 – диаметр 25 мм, 2 – 45 мм).



Траектории движения алюминиевых пластин по наклонной плоскости

Разработанные методики позволяют выполнять выбор расчетных параметров установок, обеспечивающих необходимые энергоэффективность и технологические показатели.

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ АППАРАТОВ ОБЕСПЕЧИТ ДОПОЛНИТЕЛЬНУЮ ЭКОНОМИЮ ТОПЛИВА ПРИ СЖИГАНИИ**

*Караваев Д.Е., Коровин Ю.В., Потапов В.Н., Костюнин В.В.*

*УрФУ*

*E-mail:tes@mail.ustu.ru*

Любую политику энергосбережения при сжигании органических топлив в конечном счете можно свести к экономии топлива, а еще точнее – к снижению затрат топлива на единицу продукции или вторичной энергии для потребителя. Это не что иное, как повышение КПД топливосжигающего устройства. Для более совершенных аппаратов увеличение КПД получить очень сложно, и оно невелико. Но при пересчете для мощных агрегатов, эти ничтожные проценты или даже их доли, получают достаточно большие объемы сэкономленного топлива, которые в денежном выражении уже составят десятки миллионов рублей. Это почти всегда больше чем эффект от большинства известных мер от снижения тепловых и электрических потерь на многих объектах энергетики, например, при ликвидации потерь теплоты с их поверхности или от снижения потерь электроэнергии на собственные нужды того же топливосжигающих агрегатах. На старых или малых агрегатах это увеличение КПД может быть в несколько раз больше, но его часто игнорируют из-за явной технологической невозможности или неумения персонала улучшить сам топочный процесс в конкретном небольшом агрегате (котле), сжигающем топливо.

Большинство самых эффективных агрегатов для сжигания органического топлива используют те или иные вихревые технологии воспламенения и далее полного сжигания топлива в камерных топках. Это всегда связано как минимум с тремя обстоятельствами. Только сильно закрученный газовый поток позволит организовать непрерывный подвод теплоты в корень формируемого горящего факела. Без подвода этой теплоты организацией особенной аэродинамической структуры потока вообще невозможно обеспечить надежное воспламенение и горение измельченного топлива, прежде всего твердого, забалластированного, особенно с нестабильными теплотехническими характеристиками. Во-вторых, в закрученном факеле, прежде всего в горящем, всегда имеют место характерные расширяющиеся кольцевые области с резким повышением или, наоборот, - со снижением интенсивности турбулентного обмена, без чего вообще невозможно позонное формирование разных условий для горения топлива в объеме потока. В третьих, только вихревой горящий факел может обеспечить самый широкий диапазон регулирования (управления) всеми своими характеристиками, как то: размеры специфических областей, местные избытки воздуха, стимуляция или торможение выгорания топлива и управление этими процессами и, конечно, воздействие на экологическую безопасность интегрального процесса сжигания.

Начиная с первых исследований структуры сильно закрученных потоков в начале XX века, большинство исследователей, как и сегодня, судят об этих потоках (вихрях) по распределениям в них скоростей и давлений. В середине века были предприняты попытки косвенного анализа турбулентной структуры потоков через анализ распределений в них количества движения (импульса), а

еще лучше через плотности потоков этих импульсов (ППИ). Установлено, что в областях максимальных градиентов ППИ в строго определенных направлениях, были опытно установлены максимальные значения многих (и самых важных) характеристик турбулентного переноса. И, наоборот, - в зонах с минимальными ППИ турбулентность вырождается (затухает), притом, что все процессы, особенно в горящих факелах, осуществляются практически исключительно механизмами турбулентного обмена. В конце 70-х, начале 80-х годов прошлого века на кафедре ТЭС УПИ было установлено, что наиболее важную роль при формировании интенсивно закрученных турбулентных потоков реально играют распределения в них плотностей потоков моментов импульсов (ППМИ). Эти ППМИ не только отражают основные механизмы распределения в закрученном потоке, как момента вращения, так и осевого импульса. Они же объясняют такие необычные явления, как наличие в объеме закрученного потока областей разной интенсивности крутки, отличающейся на величину до двух порядков в одном потоке, уточняют внешнюю границу потока (вихря) и выделяют, как режимы сохранения момента вращения в потоке (в том числе в факеле), так и режимы выноса момента вращения в окружающее пространство топки, и даже механизмы разрушения (распад) горящего закрученного факела.

Некоторые из этих явлений, более подробно были изучены в лаборатории ООО «Вихревые системы» на горячих моделях различных вихревых устройств, а результаты этих работ используем для отработки конструкций двух разных устройств: серийных вихревых пылеугольных горелок мощных паровых котлов ПК-39 и П-57 тепловых электростанций и вихревого генератора для получения горючего газа из биомассы или низкокачественных твердых топлив.

Располагаемые нами открытые данные по структуре потоков на выходе и за выходом воздуха и аэропыли за горелками упомянутых котлов были нами переработаны в виде распределений импульсов и моментов. Это позволило выявить существенные пороки конструкций этих весьма совершенных горелок и их неудачная настройка инженерами энергетических предприятий. Глубокая модернизация таких горелок пока невозможна в существующих условиях, но внедрение на горелках конкретных малозатратных изменений, не приводящих к изменениям конструкций, требующих обязательной сертификации, позволят на практике существенно улучшить их эксплуатацию. Среди этих конкретных мер, мы выделим мероприятия по повышению симметричности потоков аэропыли на выходе из горелок в топку для возможности снижения местных избытков воздуха непосредственно в зоне воспламенения аэропыли в самом корне факела каждой горелки котла. Другие мероприятия должны повысить симметричность потока вторичного воздуха при выходе из горелки, что остро необходимо для устранения часто наблюдаемого непрогнозируемого наброса горящих факелов некоторых горелок на стены топки и шлакования этих участков. Одновременно это позволит понизить уровни избытков воздуха в нижней части топки, причем без появления дополнительной неполноты сгорания, что полезно экономически и вызовет некоторое снижение образования оксидов азота при горении топлива. Симметричность сильно закрученного потока вторичного воздуха может быть реализована методом компании *Foster Willer* путем установки вокруг лопаток

для закрутки вторичного воздуха (с достаточно большим зазором) сплошного перфорированного цилиндрического барабана. Этот прием сегодня используют на многих крупных паровых котлах электростанций развитых стран. Другим и гораздо более эффективным средством выравнивания кольцевой вихревой струи вторичного воздуха можно считать замену выходного цилиндрического толстостенного канала горелки на перфорированный канал, где через отверстия перфорации этого канала следует постоянно подавать некоторое количество от всего объема вторичного воздуха. Этот метод был изобретен и исследован на холодных моделях горелок в 70-е годы прошлого века на кафедре ТЭС УПИ, а позже был испытан и отработан на небольших новых пылеугольных горелках в ООО «Вихревые системы» с горением твердого топлива разного качества. Эти результаты превзошли все ожидания, так как одновременно удалось получить необычно широкий диапазон управления характеристиками факела горящей угольной пыли, пока неизвестный нам по исследованиям других авторов. При сжигании высокосольных экибастузских углей на котлах П-57 и, особенно на котлах ПК-39 этим можно получить экономию топлива на заметную величину в 0,5...1,5 %, что эквивалентно примерно такому же повышению КПД этих котлов.

Другой вихревой агрегат, в развитии и модернизации которого мы также приняли участие, это доработка прототипа первой модификации газогенератора нового типа для получения низкокалорийного газа из опила и отходов очистки продуктов питания (биомассы). В частности нами был исследован и переоценен механизм формирования закрученного потока в специфическом завихрителе воздуха камерного типа, которым будет оснащен промышленный образец этого аппарата уже пригодного для коммерческого использования. В частности нами были частично переработаны полученные ранее и не опубликованные данные о структуре потока в стандартной улитке, представленные в виде распределений моментов и импульсов в ее объеме. Нам было подтверждено предположение автора этих пока неопубликованных исследований, что характер формирования и развития момента вращения воздушной струи в камерном завихрителе сильно отличается от общепринятых представлений. Их этого следует не только вывод о сильно переменной интенсивности крутки потока в таком вихревом аппарате и на выходе из него, делая некорректными стандартные расчеты интенсивности крутки формируемого вихря, но и показывает области потери момента в объеме аппарата и области энергетических потерь на ускорение и торможение потока. Причем выявлен и механизмы нерасчетного и пока необъяснимого для многих выноса твердой фазы из аппарата при подаче в него какого-либо топлива или твердого органического сырья при производстве искусственного горючего газа.

Новый аппарат – вихревой газогенератор при лабораторных испытаниях показал не только надежность и управляемость основных процессов, но показал свою перспективность для вытеснения сжигания других дорогих коммерческих топлив в небольших и средних котельных установках, отличающихся низким КПД, прежде всего из-за высокой неполноты сгорания. Уровень потерь топлива при работе на газе после газогенератора удалось снизить до 4-6 %, что примерно соответствует качеству сжигания углей на многих котлах электростанций.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ В ТЕХНИКЕ

*Касимов Р. З., Попов Д. Н., Диденко В. Н.  
Ижевский государственный технический университет  
tguug@istu.ru*

На сегодняшний день аккумулирование тепловой энергии может осуществляться за счет теплоемкости материалов (теплоемкостное аккумулирование), термохимической реакции (термохимическое аккумулирование), фазовых переходов (скрытое аккумулирование) или комбинации всех перечисленных [1–3].

В настоящей работе рассматривается случай скрытого теплоаккумулирования. Различают следующие виды фазовых переходов: «твердое тело – твердое тело», «твердое тело – газ», «твердое тело – жидкость», «жидкость – газ». При переходе «жидкость – пар» поглощается наибольшее количество тепла, но происходит значительное изменение объема, и поэтому этот вид аккумулирования тепловой энергии не всегда удачно подходит для практических целей. Отсюда наиболее распространенным в практике теплоаккумулирования видом фазового превращения является переход «твердое тело – жидкость».

Как показывает мировой опыт, теплоаккумулирующие материалы (ТАМ) с переходом «твердое тело – жидкость» уже нашли широкое применение в теплотехнике и теплоэнергетике и других отраслях. Они успешно используются для теплосъема при больших тепловых нагрузках, защиты от перегрева поверхностей различных устройств, для стабилизации температурного режима в помещениях и т.д.

В свободном виде ТАМ применяют в различного рода теплообменниках и котлоагрегатах, в зависимости от используемого вида ТАМ.

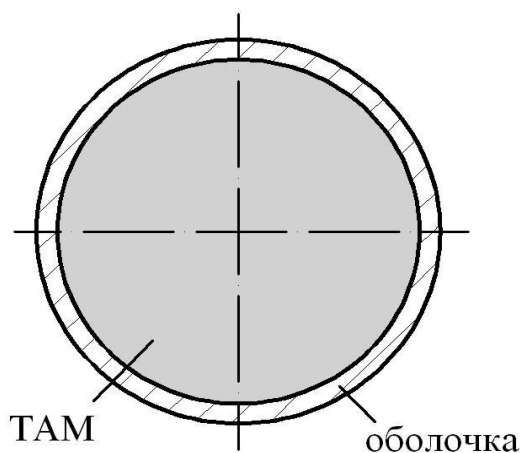


Рис. 1. Капсула, заполненная ТАМ

Так как при изменении агрегатного состояния ТАМ происходит изменение его объема и формы, то ТАМ (в основном это парафины) помещают в капсулы (рис. 1) или в контейнеры. Этот процесс называется капсулированием. При этом различают микрокапсулы и макрокапсулы. Их различие состоит в

размерах и материалах капсул. Гидраты солей не могут капсулироваться из-за своего гигроскопического действия.

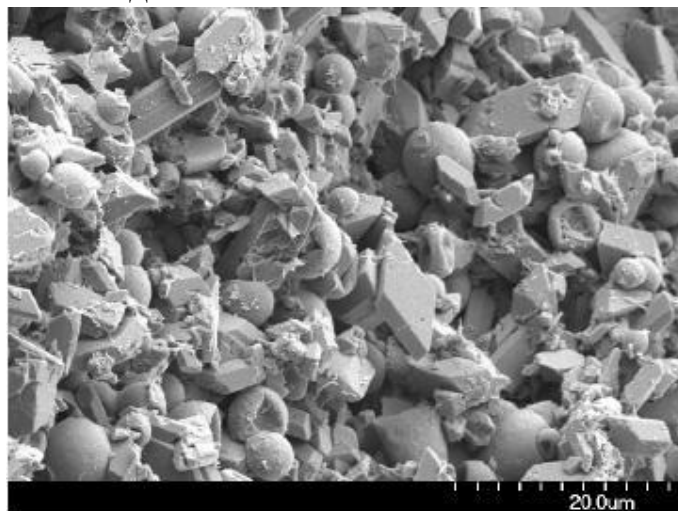


Рис. 2. Капсулы ТАМ в гипсокартонной плите (вид под микроскопом)

Микрокапсулы с парафином вводят в состав штукатурки, строительных элементов (гипсовые и гипсокартоновые плиты (рис. 2)), увеличивая при этом площадь теплообмена.

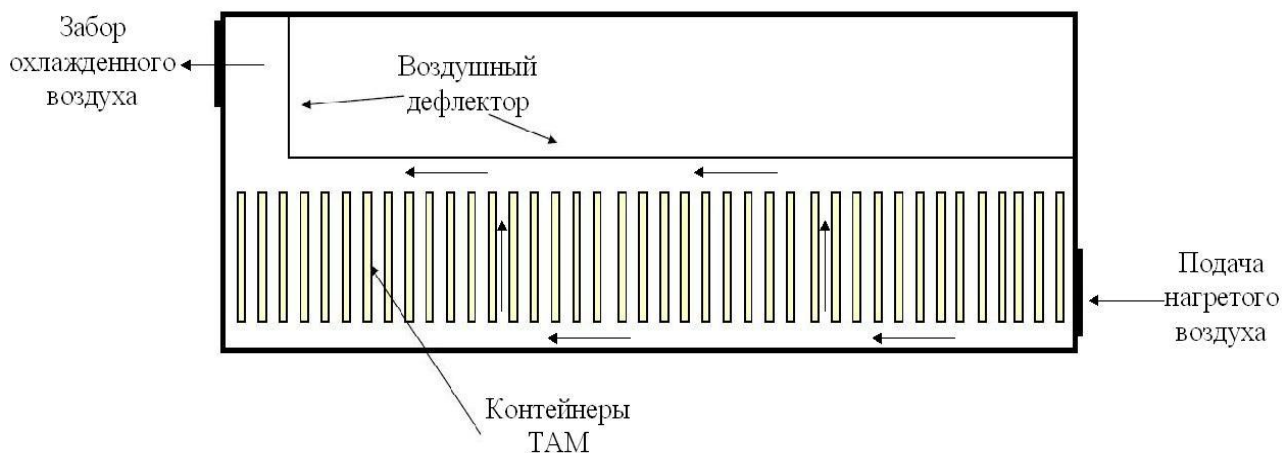


Рис. 3. Контейнеры ТАМ в системе вентиляции

ТАМ в контейнерах в форме плит (рис. 3), цилиндров и больших шаров используются в системах вентиляции, отопления, в гелиоустановках.

Макрокапсулы вводятся в теплоаккумуляторы гелиосистем, систем кондиционирования, отопления и вентиляции [3, 5]. Также авторами рассматривается возможность применения капсул в биореакторах.

При введении микрокапсул с ТАМ в жидкость (как правило, в воду) образуются суспензии. В этом случае вода является непрерывной (несущей) фазой и при помощи насоса, ТАМ в виде дисперсных частиц, могут транспортироваться по системе трубопроводов. Такие смеси применяются в системах отопления,



теплообменниках и теплогенераторах в качестве тепло- или хладоносителя (рис. 4) [6].

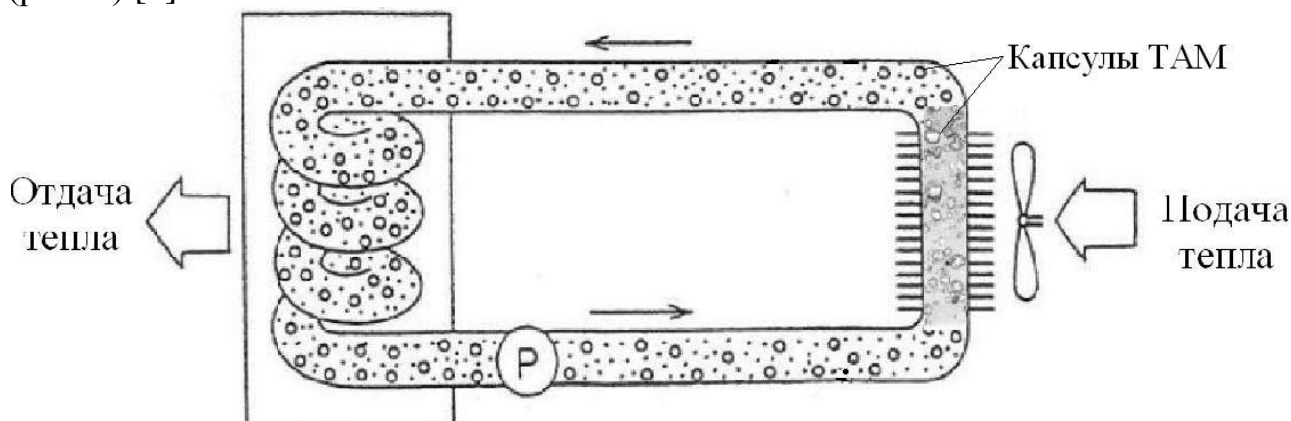


Рис. 4. Хладоноситель ТАМ-жидкость в системе охлаждения

### *Библиографический список*

1. Коринчевская Т.В. Теплоаккумулирующие материалы с фазовым переходом. Институт технической теплофизики НАН Украины. Киев, 2008.
2. Ao. Univ.-Prof. DI Dr. Wolfgang Streicher (Projektleitung), DI (FH) Andreas Heinz, Dr. Peter Puschnig, Dr. Hermann Schranzhofer, DI Georg Eisl, Dr. Richard Heimrath Institut für Wärmetechnik, TU Graz, Dr. Gernot Wallner Polymer Competence Center Leoben GmbH, Dr. Harald Schobermayr, Dr. Harald Schobermayr Kunststofftechnik. Fortschrittliche Wärmespeicher zur Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad sowie Emissionsverringierung durch verringertes Takten. Graz, Oktober 2006.
3. H. Bludau, N. Schubert. Phase Change Materials – PCM. Technische Universität Dresden, Mai 2009.
4. Данилин В.Н., Шабалина С.Г. Теплоаккумулирующие материалы на основе высокомолекулярных соединений / Кубанский гос. технолог. ун-т, кафедра «Физическая и коллоидная химия».
5. D. Müller. Forschungsaktivitäten PCM in der TGA. LowEx – Symposium 2009, Kassel.
6. Stefan Gschwander, Peter Schossig, Hans–Martin Hennig. PC–Slurries: Anwendungen bei der Speicherung und dem Transport von Wärme und Kälte. Institut Solare Energiesysteme. Fraunhofer.

## **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА**

*Касимов Р. З., Попов Д. Н., Диденко В. Н.*

*Ижевский государственный технический университет  
[tguug@istu.ru](mailto:tguug@istu.ru)*

Несмотря на широкое применение теплоаккумулирующих материалов (ТАМ), отсутствуют четкие методы расчета и проектирования объектов, использующих их в качестве рабочих тел. Для моделирования процессов плавления (кристаллизации) чистых веществ широко используется классическая задача Стефана [1], которая характеризуется заданием постоянной температуры или теплового потока на границе фазового перехода. Однако она не учитывает изменение теплофизических характеристик материала в зависимости от температуры в твердой и жидкой фазах, наличие области двухфазного состояния и

фиксированной границы расчетной области, когда ТАМ содержится внутри капсулы.

В разработанной авторами методике расчета фазовых переходов ТАМ размещается в капсуле, имеющей твердую теплопроводную оболочку (рис. 1). С учетом переменных теплофизических характеристик материала оболочки, жидкой и твердой фазы ТАМ, двухфазной области между ними уравнение теплопроводности записывается в виде

$$\frac{\partial(c\rho T)}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 k \frac{\partial T}{\partial r}), \quad (1)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $T$  – температура, К;  $\tau$  – время процесса плавления (кристаллизации), с;  $k$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);  $r$  – радиус, м.

$$\text{Г.У.: при } r=r_0 \quad \alpha(T_{ep}-T_i)=-k_o(\frac{\partial T}{\partial r}), \text{ при } r=0 \quad \frac{dT}{dr}=0$$

где  $r_0$  – радиус капсулы, м;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $T_{ep}$  – температура на границе оболочки капсулы и окружающей среды, К;  $T_i$  – температура ТАМ в  $i$ -той точке, К;  $k_o$  – коэффициент теплопроводности оболочки, Вт/(м·К).



Рис. 1. Схема капсулы, заполненной ТАМ

Зона двухфазного состояния ТАМ фиксировалась следующим образом. Достижение расчетным слоем температуры фазового перехода считается началом плавления (кристаллизации). Температура в дальнейшем для него принимается неизменной до тех пор, пока доля расплавленной части материала

$$X_i = \frac{Q_i}{\lambda m_i} \quad (2)$$

не окажется равной 1 (или 0 при кристаллизации).

Здесь  $Q_i$  – количество теплоты в  $i$ -ой точке, полученное за время фазового перехода, Вт;  $\lambda$  – теплота фазового перехода, Дж/кг;

$$Q_i = Q_i \pm \Delta Q,$$

где  $\Delta Q$  – приращение теплоты за время фазового перехода, Вт

$$\Delta Q = q_i S_\delta \Delta \tau,$$

где  $q_i$  – тепловой поток, необходимый для фазового перехода, Вт

$$q_i = k_{i+1}(T_{i+1} - T_i) - k_{i-1}(T_{i-1} - T_i),$$

где  $S_\delta$  – площадь слоя ТАМ,  $\text{м}^2$

$$S_\delta = \pi(r_{i+1} + r_i)^2,$$

где  $m_i$  – масса ТАМ в  $i$ -ой точке, кг

$$m_i = 4/3\pi\rho(r_{i+1}^3 - r_i^3).$$

В зоне фазовых переходов теплофизические характеристики зависят от температуры и степени превращения  $X$ :

– удельная теплоемкость вещества:

$$c_x = c_{жс}X + c_m(1 - X),$$

где  $c_{жс}$  и  $c_\delta$  – удельные теплоемкости вещества в жидком и твердом агрегатном состоянии соответственно,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ;

– удельный объем вещества:

$$\nu_x = \nu_{жс}X + \nu_m(1 - X),$$

где  $\nu_{жс}$  и  $\nu_m$  – удельные объемы вещества в жидком и твердом агрегатном состоянии соответственно,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ;

– коэффициент теплопроводности вещества, который принимается по аналогии с эквивалентной теплопроводностью:

$$k_x = k_{э\kappa\text{в}} = \frac{1}{\frac{X}{k_{жс}} + \frac{1-X}{k_m}},$$

где  $k_{жс}$  и  $k_\delta$  – коэффициенты теплопроводности вещества в жидком и твердом состоянии соответственно,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ .

По представленной выше методике рассчитан процесс изменения фазового состояния ТАМ в капсуле радиусом  $r_0 = 0,005 \text{ м}$ , имеющую твердую оболочку из полиэтилена низкого давления (ПЭНД).

В качестве ТАМ рассматривается н-парафин  $C_{18}H_{38}$  (н-октадекан) с температурой плавления  $T^* = 301 \text{ К}$  и теплотой фазового перехода  $\lambda = 244000 \text{ Дж/кг}$ .

Температура капсулы в начальный момент времени  $\tau = 0$  равна  $T_0 = 293 \text{ К}$ . Учитывалась зависимость теплофизических характеристик н-парафина от температуры [2]. Температура среды равна  $T_{сп} = 331 \text{ К}$ .

Коэффициент теплоотдачи определяется из критериального уравнения [3]:

$$Nu = 2 + 0,03Pr^{0,33} Re^{0,54} + 0,35Pr^{0,35} Re^{0,58}$$

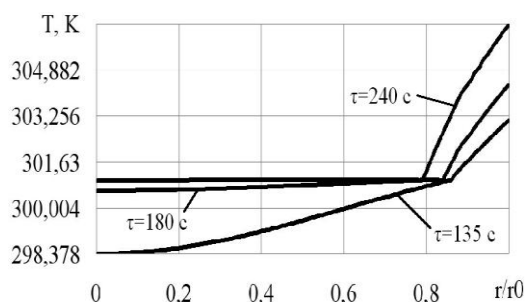


Рис. 2. Изменение температуры при плавлении капсулы

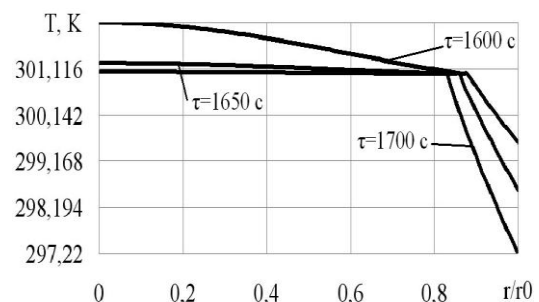


Рис. 3. Изменение температуры при кристаллизации капсулы

На рис. 2 и 3 представлены графики с результатами, полученными при решении задачи плавления (кристаллизации) н-парафина в капсуле из ПЭНД, в определенные моменты времени  $\tau$ . При повышении (понижении) температуры окружающей среды происходит постепенный нагрев (охлаждение) ТАМ в капсуле. Когда температура ТАМ достигнет температуры фазового перехода  $t^*$ , начинается процесс плавления (кристаллизации). Переход от жидкого агрегатного состояния к твердому, или наоборот, проходит в зоне двухфазного состояния, т.е. когда присутствуют оба агрегатных состояния. На рис. 3 и 4 этой области соответствуют горизонтальные участки кривых. Одновременно происходит поглощение (выделение) скрытой теплоты фазового перехода  $\lambda$ . Также видно, что зона двухфазного состояния н-октадекана с увеличением времени растет и стремится к центру капсулы. После того как ТАМ полностью расплавился (закристаллизовался), происходит его дальнейший нагрев (охлаждение). Границы между оболочкой и н-парафином на кривых практически незаметны ввиду незначительной разницы их теплофизических свойств.

#### *Библиографический список*

1. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едиториал УРСС, 2003. 784 с.
2. Варгафтик Н. Б.. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М: Наука, 1972. 720 с.
3. Теплотехника: Учеб. для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; Под ред. В. Н. Луканина. 2-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 2000. 671 с.

### **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХВАЛЬНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГТУ**

*Кашина О.В., Немытова Д.А., Гулина С.А.*  
*УрФУ*

[Kt\\_oeg@mail.ru](mailto:Kt_oeg@mail.ru)

В настоящее время конвертированные авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) нашли широкое применение в наземных энергетических установках для привода газоперекачивающих агрегатов (ГПА), так как базовым авиационным ГТД присущие высокая надежность, экономичность и эксплуатационная технологичность, малые габаритные размеры и масса, стабильность потребительских свойств. Перечисленные достоинства авиационных приводов позволяют реально повысить эффективность и экономичность современных ГПА и способствуют совершенствованию структуры компрессорных станций магистральных газопроводов. При этом разнообразные ГПА имеют различные технико-экономические показатели. Для базового авиационного двигателя наземного использования в качестве ГПА, изменяются физические условия на входе в двигатель, параметры номинального режима и вид топлива. В связи с этим анализ влияния технико-экономических показателей на эффективность работы ГПА является актуальной задачей, и необходимо ещё на начальном этапе кон-

вертирования иметь возможность получения достоверных значений термодинамических параметров конвертируемого двигателя и его эффективности.

Цель настоящего исследования заключается в следующем: на основе математического моделирования термодинамического процесса оценить влияние распределения степени повышения давления по каскадам компрессоров авиационного двигателя на эффективные параметры конвертированного авиационного двигателя, что позволит экономить топливный газ, снижая себестоимость перекачиваемого природного газа.

Алгоритм расчета для термодинамического анализа авиационных двигателей достаточно сложен, еще более сложной задачей является анализ циклов ГТД при их работе на природном газе, с произвольным составом, зависящим от месторождения. Для решения этой задачи потребовалось создание алгоритма расчета параметров смеси произвольных газов, и массива с данными термодинамических свойств компонентов технологического топлива в широком диапазоне температур. Необходимость учета переменности свойств воздуха и продуктов сгорания, в процессе термодинамических расчетов циклов очевидна, и не учёт изменения свойств рабочего тела от температуры и коэффициента избытка воздуха может дать ошибку в вычислениях более 5 % по данным [2]. Математическая модель термодинамического расчета разработана на основе алгоритма  $p - h - T$  функций. Как показал анализ [4], использующегося метода, достоверная точность может быть обеспечена только при точном учете зависимости теплофизических параметров рабочего тела от температуры в цикле. Для продуктов сгорания природного газа имеющего конкретный состав (в зависимости от месторождения), одним из авторов данной статьи - Гулиной С.А., рассчитаны теплофизические свойства рабочего тела в виде  $p - h - T$  функций, в среде пакета Microsoft Excel, в соответствии с Международной системой единиц с интервалом в 1 °С в диапазоне температур от -50 до 1650 °С.

Использование этой программы позволило авторами данной статьи Кашиной О.В. и Немытовой Д.А. выполнить термодинамический расчёт простого цикла трехвальной газотурбинной установки при различной суммарной степени повышения давления в компрессорах  $\pi_{\Sigma} = 15; 20; 25$  и температуры газа перед турбиной высокого давления  $T_T = 1200; 1300; 1450; 1600$  К. Исследуемые ГТД, работают в составе газоперекачивающих агрегатов и в качестве топлива используют природный газ, поэтому критериями эффективности термодинамического процесса являются полезная работа цикла и удельный расход топлива. Характер изменения удельного расхода топлива от параметров цикла представляет собой большой интерес для эксплуатации. По результатам расчетов были построены графики зависимости  $L_e = f(\overline{\pi_{кнд}})$  (рис. 1), где относительная степень сжатия в компрессоре низкого давления:

$$\overline{\pi_{кнд}} = \frac{\pi_{кнд}}{\pi_{\Sigma}}$$

$$L_e, \frac{кДж}{кг}$$

$$L_e, \frac{кДж}{кг}$$

$$L_e, \frac{кДж}{кг}$$

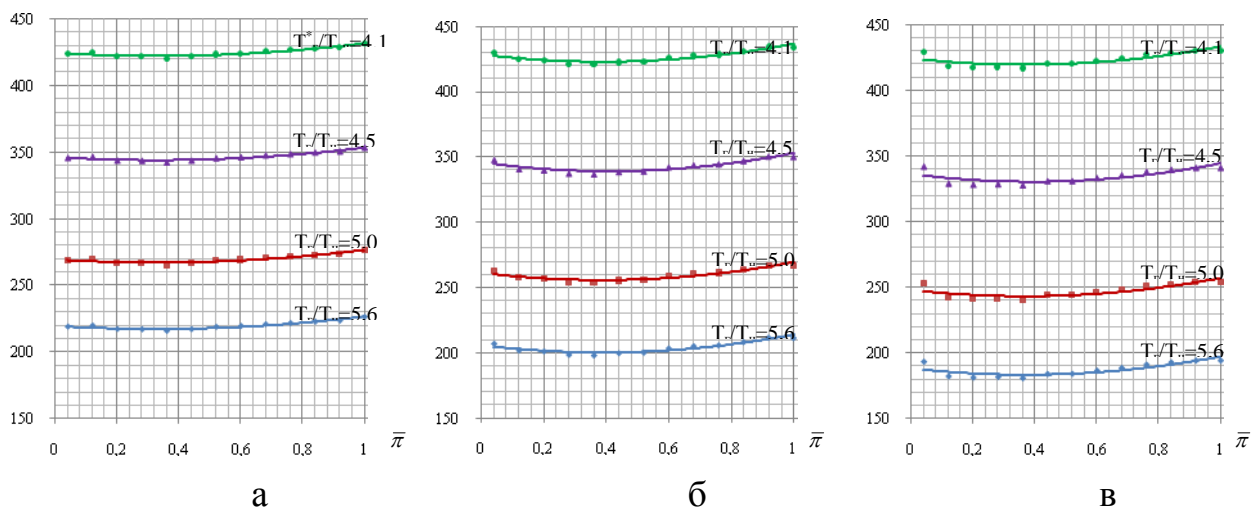


Рис. 1. Изменение  $Le$  в зависимости от  $\overline{\pi_{KH\partial}}$ : при различных суммарных степенях повышения давления: а –  $\pi_{\Sigma} = 15$ ; б –  $\pi_{\Sigma} = 20$ ; в –  $\pi_{\Sigma} = 25$ .

Расчёт удельной полезной работы и удельного расхода топлива производится по методике [3] с учетом механических потерь в опорах, изменения массы рабочего тела по тракту ГТД, гидравлических потерь и теплофизических свойств рабочего тела. Энтальпию и температуру в цикле определяем с помощью  $\pi - h - T$  функций. На рис. 2 построена зависимость  $c_{y\partial} = f(\overline{\pi_{KH\partial}})$  при различных  $\frac{T^*}{T_H}$ . Удельный расход топлива для газотурбинных двигателей, используемых для перекачки природного газа оценивается:

$$c_{y\partial} = \frac{3600}{H_u \eta_e}, \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

и, следовательно, удельный расход топлива обратно пропорционален эффективному КПД цикла.

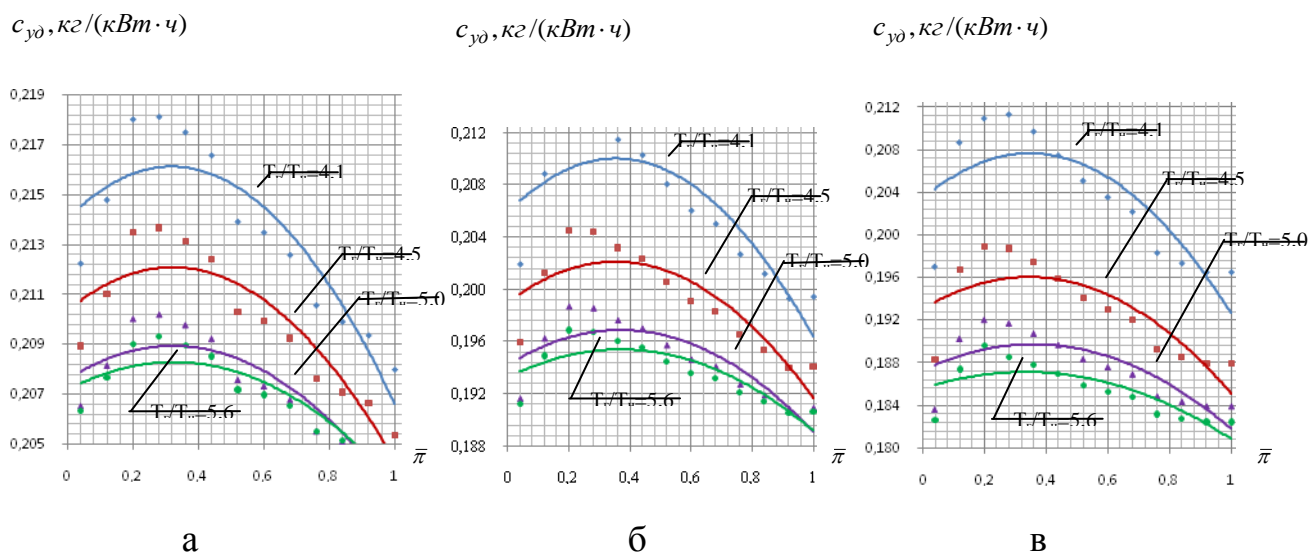


Рис. 2. Изменение  $c_{y\partial}$  от  $\overline{\pi_{KH\partial}}$ : а –  $\pi_{\Sigma} = 15$ ; б –  $\pi_{\Sigma} = 20$ ; в –  $\pi_{\Sigma} = 25$ .

Полученные графические зависимости хорошо согласуются с теоретическими данными, представленными в работе [1]. С повышением температуры га-

за перед турбиной увеличивается эффективная работа цикла, эффективный КПД цикла, и снижается удельный расход топлива. Увеличение эффективной работы цикла и уменьшение удельного расхода с ростом  $\pi_{K\Sigma}^*$  связано с повышением работоспособности рабочего тела и температуры воздуха за компрессором, следовательно, снижением количества подводимого топлива при условии  $T_1^* = const$ .

Из графических зависимостей видно, что при равномерном распределении степени повышения давления по каскадам компрессоров ( $\overline{\pi_{кнд}} = 0,2 \dots 0,5$ ) уменьшается полезная работа цикла и увеличивается удельный расход топлива. Для  $\overline{\pi_{кнд}} = 0$  и  $\overline{\pi_{кнд}} = 1$ , когда вся работа сжатия совершается в одновальном газогенераторе, удельные показатели ГТУ улучшаются. Следовательно, переход к двухвальному газогенератору позволяет реализовать большие значения  $\pi_{K\Sigma}^*$  с обеспечением хорошего запаса газодинамической устойчивости работы компрессора, которую теряет однокаскадный газогенератор при реализации высоких степеней сжатия. Но появление второго вала увеличивает уровень механических потерь в опорах, и это приводит к снижению эффективных показателей цикла. Из полученного анализа можно сделать вывод, что оптимальное распределение степени повышения давления следует производить с учетом работы турбин компрессоров. Из условия равномерной нагруженности турбин и плавности проточной части - отношение  $\pi_{кнд}^*$  и  $\pi_{квд}^*$  прямо пропорционально квадрату скольжения роторов двухвального газогенератора. Распределение степени повышения давления с учетом минимального расхода топливного газа может дать существенную экономию природного газа и является одной из составляющих комплекса взаимосвязанных ресурсосберегающих технологий магистрального транспорта газа.

### *Библиографический список*

1. Дорофеев В.М. Термогазодинамический расчет газотурбинных силовых установок / В.М. Дорофеев, В.Г. Маслов, Н.В. Первышин, С.А. Сватенко, Б.Д. Фишбейн. М.: Машиностроение, 1973. 144 с.
2. Гулина С.А. Упрощение термодинамических расчетов тепловых машин путем использования модели идеальных газов / С.А. Гулина, Е.Л. Михеенков, М.Ю. Орлов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Ч. 3. 2009. № 3. С. 28-34.
3. Михеенков Е.Л. Термодинамический анализ сложных систем энергетических установок / Е.Л. Михеенков. Самара: Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета, 2010. 146 с.: ил.
4. Михеенков Е.Л. Проведение термодинамических расчетов с учетом переменности свойств рабочего тела / Е.Л. Михеенков, В.В. Бирюк, М.Ю. Орлов, В.П. Алексеенко, Ю.А. Синеговский // Изв. Самарского научного центра РАН. Спец. вып. 2008. С. 36-39.



## НАПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

*Козина Н.В., Кучеренко М.Н.*

*Тольяттинский государственный университет*

*[kozina.nv@mail.ru](mailto:kozina.nv@mail.ru)*

Энергосбережение в сельскохозяйственных зданиях является необходимой и обоснованной мерой. Современные технологии содержания животных предъявляют высокие требования к микроклимату в животноводческих и птицеводческих помещениях, кроме этого, здания такого назначения являются высокомеханизированными, что заставляет задуматься о снижении их энергоёмкости.

С точки зрения нормирования теплотехнических характеристик ограждающих конструкций сельскохозяйственные здания следует относить к отдельному типу зданий из-за особенностей формирования параметров микроклимата: низкой температуры  $t_e$  и высокой относительной влажности  $\varphi_e$  внутреннего воздуха, постоянных биологических тепловыделений  $Q_e$ , сезонности эксплуатации [2].

Однако нормативные документы по расчёту теплофизических характеристик ограждающих конструкций не учитывают данные факторы. Методика расчёта, приведённая в них, является общей для общественных, производственных и сельскохозяйственных зданий. В связи с этим, можно говорить о том, что и конструкции сельскохозяйственных зданий должны иметь отличия от конструкций зданий другого назначения.

Энергосбережение в сельскохозяйственных зданиях с помощью изменения теплофизических характеристик ограждающих конструкций подразделяется на несколько направлений: изменение состава наружных ограждающих конструкций с применением новейших материалов и технологий, изменение объёмно-планировочных решений зданий, применение снега как дополнительного теплоизоляционного слоя, применение воздушных вентилируемых прослоек.

Следует учитывать и тот факт, что с точки зрения энергосбережения целесообразно строительство зданий с чердаками, наличие которых приводит к снижению требуемого сопротивления теплопередаче чердачных покрытий не менее, чем на 10 % по сравнению с бесчердачными [2].

Объёмно-планировочные решения сельскохозяйственных зданий также влияют на теплопотери этих зданий, а следовательно, и на дальнейшие затраты энергии для обеспечения необходимого микроклимата помещений. Такие здания в основном имеют прямоугольную, реже - квадратную форму. Однако для зданий с прямоугольной формой требуется увеличение сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций по сравнению со зданиями квадратной или круглой формы при прочих равных условиях. Также доказано, что обваловка или заглубление сельскохозяйственных зданий уменьшают величину  $R_o^{mp}$  [2].

Часто меры по повышению теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий являются недостаточными. В этом случае следует за-



думаться об использовании альтернативных источников энергии. В качестве нетрадиционных источников энергии для сельскохозяйственных зданий можно активно использовать возобновляемые природные ресурсы. К наиболее перспективным источникам энергии относятся энергия солнца (тепловая и световая составляющие солнечной радиации - основной первоисточник), геотермальная (тепло верхних слоев земной коры и массивных поверхностных форм рельефа - скал, камней и т.п.) и гидротермальная (тепло грунтовых вод, открытых водоемов, горячих подземных источников) энергии.

Наибольший эффект по снижению энергозатрат может быть получен за счёт использования солнечной энергии, отличающейся своей экологичностью и возобновляемостью. При оценке возможности использования солнечной энергии в сельскохозяйственном производстве в северных широтах необходимо учитывать тот факт, что продолжительность дневного солнечного сияния в летние месяцы увеличивается с географической широтой местности. Полученные М.Ш. Ахмедовым [1] данные по суммарной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность для различных географических широт, позволяют сделать вывод о возможности получения низкотемпературного теплоносителя в летний период года практически на всей территории страны.

Наряду с мерами по улучшению теплотехнических характеристик ограждающих конструкций зданий и применением солнечной энергии следует применять наиболее целесообразные с точки зрения эффективности и капиталозатрат системы вентиляции.

Для обеспечения требуемого воздухообмена в животноводческих зданиях и птичниках используются, как правило, приточные механические и вытяжные естественные или механические системы вентиляции. Удаление воздуха естественным путём не всегда эффективно, так как в животноводческих помещениях выделяется много тяжёлых газов. Для решения этой проблемы требуются механические системы с вытяжкой воздуха из нижней зоны помещений - верхней части канализационных каналов. В зависимости от назначений помещений и технологии содержания животных приточный воздух подаётся в верхнюю или нижнюю зоны помещения. Выбор способов распределения воздуха зависит от аэродинамических характеристик приточных струй и конструктивно-планировочного решения помещения [3].

Приточные системы вентиляции, как правило, оборудуются нагревательными установками. В ряде случаев в животноводческих помещениях присутствуют большие избытки биологических тепловыделений  $Q_{\text{б}}$ , что позволяет обойтись без лишних энергозатрат на нагрев приточного воздуха. С точки зрения энергосбережения наиболее эффективным решением систем вентиляции является максимальное применение рециркуляции воздуха. Рециркуляция воздуха в животноводческих, птицеводческих и звероводческих зданиях рекомендуется соответствующими нормативными документами. Однако в нём не указываются режимы работы и количество минимально необходимого наружного  $G_{\text{н.мин}}$  и рециркуляционного  $G_{\text{рец}}$  воздуха при постоянстве общего расхода воздуха  $G_{\text{об}}$ , подаваемого в помещение. Следует также отметить, что применение

рециркуляции увеличивает затраты на очистку и дезинфекцию рециркуляционного воздуха [1].

Приточные установки с перекрёстно-точными рекуператорами, вращающимися негигроскопическими регенераторами и теплоутилизаторами с промежуточным теплоносителем, которые работают по принципу теплового насоса, позволяют избежать дополнительных затрат на очистку рециркуляционного воздуха. В данном случае увеличиваются капитальные затраты на систему приточной вентиляции, однако существенно сокращаются эксплуатационные.

Вывод. Выбор наиболее целесообразных методов энергосбережения в сельскохозяйственных зданиях определяется технологическими особенностями содержания животных в них, особенностями параметров внутреннего микроклимата помещений, мощностью и доступностью имеющихся на месте строительства природных и других энергетических ресурсов. Однако максимальный результат наблюдается при комплексном применении различных методов энергосбережения.

#### *Библиографический список*

1. Ахмедов М.Ш. Интенсивные энергосберегающие способы заготовки сена в условиях Северо-запада Российской Федерации / М.Ш. Ахмедов. СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2001. 144 с.
2. Бодров В.И. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений: Научное издание / В.И. Бодров, М.В. Бодров, Е.Г. Ионычев, М.Н. Кучеренко; под общ. ред. В.И. Бодрова; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т. Н.Новгород: ННГАСУ, 2008. С. 53, 87-92, 497.
3. Егiazаров, А.Г. Отопление и вентиляция зданий и сооружений сельскохозяйственных комплексов / А.Г. Егiazаров. М.: Стройиздат, 1981. С. 155-165.

### **К ВЫБОРУ КОНСТРУКЦИИ СТАРТЕРА–ГЕНЕРАТОРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

*Копытин П.А., Денисенко В.И.  
УрФУ  
e-mail: kem\_em@mail.ustu.ru*

Транспортное средство – это сложный агрегат в состав, которого входит множество узлов отличных по функциям, назначению и исполнению. На сегодня основным тяговым двигателем для транспортных средств является двигатель внутреннего сгорания. Для пуска в работу двигателя внутреннего сгорания необходимо дополнительное устройство – стартер. Стартер представляет собой электрическую машину, запитанную от аккумуляторной батареи. Кроме того, для работы бортовой электроники и для поддержания напряжения бортовой электросети требуется генератор, который берет мощность с вала двигателя внутреннего сгорания. На сегодняшний день эти функции выполняют две различные машины.

В целях ресурсо- и энергосбережения целесообразно совместить функции генератора и стартера в одном электромеханическом устройстве с более высокими энергетическими показателями, с меньшей массой и габаритами, и более надежном в эксплуатации. В этом отношении наиболее подходящим для транс-

портных средств является спроектированный в НПО «Автоматика» стартер-генератор (С-Г) на базе вентильного двигателя. Он представляет собой синхронную машину обращенной конструкции с магнитами, расположенными на роторе.

Магниты выполняют функцию индуктора для создания основного магнитного потока, при этом из электромеханического устройства исключается обмотка возбуждения, источник питания постоянного тока и щеточно-контактная пара. В результате упрощается конструкция, повышаются энергетические показатели машины и надежность узла.

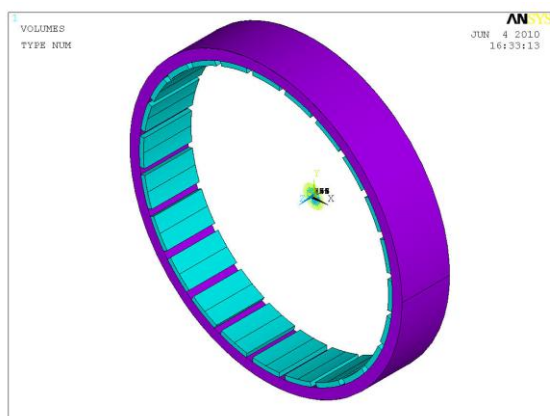


Рис. 1. Ядро ротора С-Г с магнитами

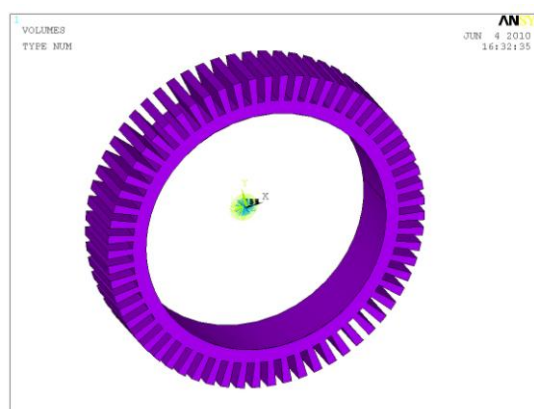


Рис.2. Сердечник статора С-Г

Статор имеет трехфазную обмотку, распределенную в пространстве по специальной схеме [1] для создания поля, распределение индукции которого в пространстве приближается к синусоидальному. По конструкции сам статор не отличается от якорей машин постоянного тока, за тем исключением, что он не требует механического выпрямителя и является неподвижным. На обмотку статора поступает трехфазный сигнал синусоидального напряжения, который сформирован электронным преобразователем. По сути, электронный преобразователь выполняет функцию коллектора, с той лишь разницей, что для его управления требуются датчики положения ротора, определяющие режим работы инвертора.

Применение такой электрической машины не только в режимах двигателя, но и как генератора в автономных системах электроснабжения значительно расширяет сферу использования. Так, в генераторе с большим числом полюсов  $2p$  и числом фаз  $m$  может быть сформировано напряжение питания с малыми пульсациями.

Принцип работы вентильного двигателя подобен принципу работы двигателя постоянного тока. Магнитное поле ротора удерживается с отставанием на  $90$  электрических градусов относительно поля статора. Этот режим обеспечивает электронный преобразователь, который за счет формирования синусоиды определенной частоты удерживает вектор поля статора с опережением ротора на  $90$  электрических градусов. При этом достигаются максимальное использование двигателя по моменту и лучшие массогабаритные показатели.

Применение обращенной конструкции стартера–генератора позволило исключить из двигательной установки транспортного средства отдельный маховик. Роль маховика, предназначенного для гашения пульсаций момента двигателя внутреннего сгорания за счет запасенной энергии во вращающейся массе, в данном случае выполняет внешний ротор стартера–генератора.

Однако такая конструкция стартера–генератора имеет существенный недостаток: размещение статора, который является главным источником тепла, внутри вращающегося ротора затрудняет охлаждение. В работе [2] дается оценка теплового состояния стартер–генератора и предлагаются меры для интенсификации охлаждения его обмотки.

#### *Библиографический список*

1. Патент RU 2280936 C2 H02K 1/16 (2006.01).
2. Копытин П.А., Носкова М.И., Денисенко В.И. К оценке теплового состояния стартера–генератора транспортного средства // Статья в настоящем сборнике. Екатеринбург: УрФУ, 2010. С. 104-106.

### **К ОЦЕНКЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ СТАРТЕРА–ГЕНЕРАТОРА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

*Копытин П.А., Носкова М.И., Денисенко В.И.  
УрФУ*

*e-mail: kem\_em@mail.ustu.ru; shechko@mail.ru*

Описание конструкции стартера–генератора (С-Г) приведено в [1]. Конструкция С-Г в отношении теплопередачи имеет недостаток. Ротор охватывает статор, в результате тепло передается через внутренний воздух машины, что способствует увеличению перепада температуры. Основным источником потерь находятся в «сердце» машины, что усложняет процесс отвода тепла и требует интенсификации путей охлаждения. При создании новой конструкции машины особое место необходимо отвести тепловому расчету и дополнительным путям отведения тепла от источников.

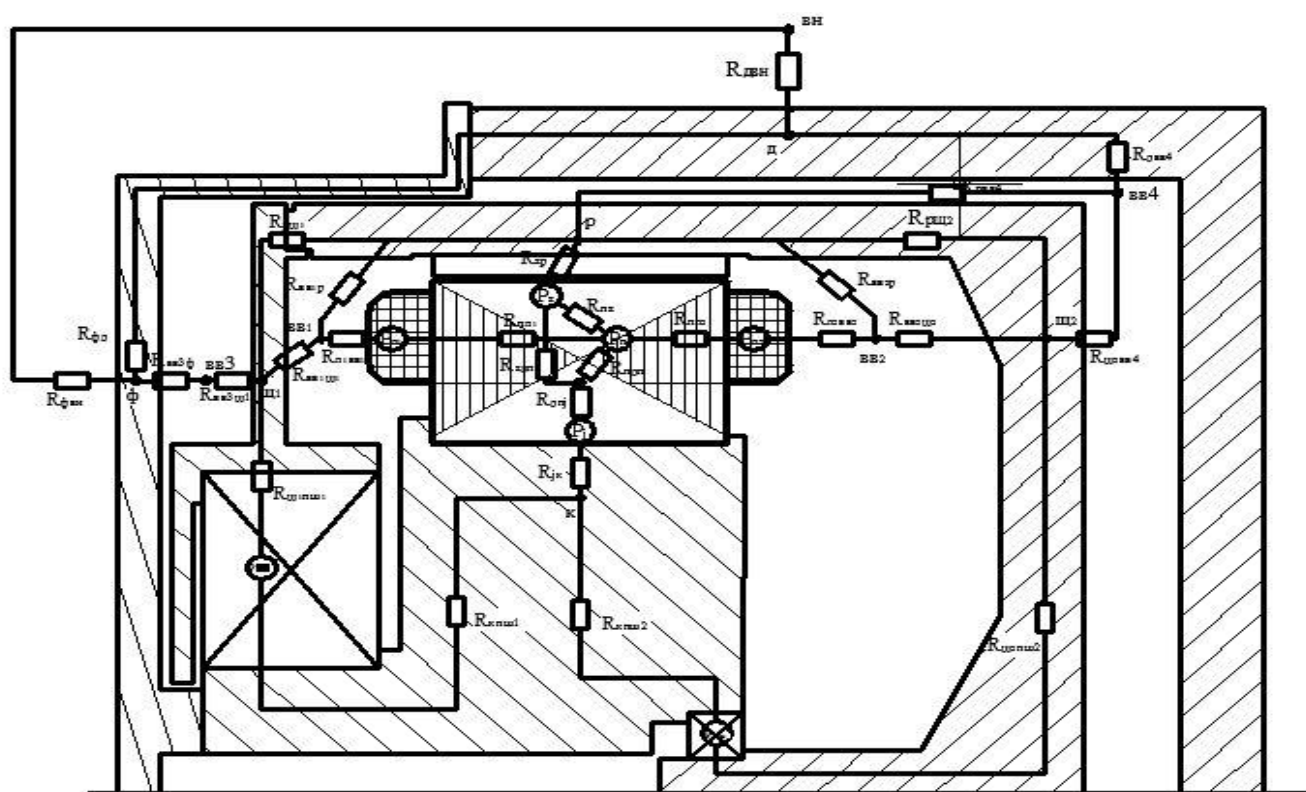
В основе математической модели для проведения теплового расчёта стартера–генератора лежит метод эквивалентных тепловых схем. В основу положена полная тепловая схема, так как условия охлаждения у заднего и переднего подшипниковых щитов различны.

На рисунке показаны основные тепловые связи проектируемой машины, которые целесообразно учесть при разработке методики теплового расчета. По приведенной тепловой схеме выделяющаяся теплота передается следующим образом.

Пазовая часть обмотки (Р) отдает теплоту зубцам (Z) пакета статора, а также (J) спинке сердечника статора. К ротору поступает теплота от зубцов пакета статора (Z) через воздушный зазор. Этот поток, соединившись с теплотой, идущей через подшипниковые щиты, поступает в картер. Параллельно часть потока от зубцов статора поступает в подшипниковые щиты и ступицу.

Тепловой поток, поступивший в картер, снимается воздушным потоком от вентилятора двигателя внутреннего сгорания.

Каждый элемент электрической машины представлен в тепловой схеме телом или узлом. Узлы между собой соединены термическими сопротивлениями, в некоторых узлах расположены сосредоточенные источники тепловыделения.



### Эквивалентная тепловая схема стартера–генератора

При составлении эквивалентной тепловой схемы было выделено восемнадцать узлов, а именно: картер двигателя, фланец, воздух внутри корпуса слева, воздух внутри корпуса справа, левый подшипниковый щит, правый подшипниковый щит, ротор, воздух внутри ротора слева, воздух внутри ротора справа, лобовые части обмотки статора слева, лобовые части обмотки статора справа, пазовая часть обмотки статора, зубцы статора, дно паза, спинка статора, ступица, левый подшипник, правый подшипник. Там, где тепловые потоки между узлами оказались существенными, они учтены в схеме в виде связей между узлами (термическими сопротивлениями). Расчет термических сопротивлений тепловой схемы выполнен на основе рекомендаций, приведенных в технической литературе [2, 3].

Расчет температур узлов проводится на основе законов Ома и Кирхгофа для тепловой цепи. При этом после определения термических сопротивлений участков и мощностей источников тепловыделения формируются матрица собственных и взаимных проводимостей узлов, и вектор приведенных источников теплоты. Уравнения тепловой цепи решаются в матричной форме.

$$\Theta = -\lambda^{-1} \cdot P,$$

где  $\theta$  – матрица-столбец перегревов различных частей двигателя,  $\lambda^{-1}$  – обратимая матрица проводимостей,  $P$  – вектор приведенных источников теплоты (потерь).

По результатам проведенного расчета можно сделать следующие выводы: самое «горячее» место – это пазовая часть обмотки статора, она имеет температуру 233 °С, что превышает максимально допустимую температуру для класса изоляции Н.

Для того, чтобы снизить перегрев обмотки статора, предлагается сделать аксиальные каналы в сердечнике статора и осуществить продув воздуха в них при помощи вентилятора, установленного на двигателе внутреннего сгорания и диффузоров. В математическую модель тепловой схемы вносится изменение, добавляется связь сердечника с окружающей средой. В матрице проводимости это отражается добавлением соответствующей проводимости в собственную проводимость узла спинки статора

За счет продува максимальная температура обмотки статора значительно снижается - до 168 °С и становится ниже максимально допустимой для данного класса изоляции Н, которая составляет 180 °С.

Таким образом, предложенные пути интенсификации охлаждения позволили решить имеющиеся проблемы. Применение аксиальных вентиляционных каналов в сердечнике статора и отвод воздуха от вентилятора, установленного на двигателе внутреннего сгорания, в эти каналы с помощью диффузоров обеспечили перегрев обмотки статора машины ниже допустимого уровня.

Результаты работы переданы для использования в НПО «Автоматика».

#### *Библиографический список*

1. Копытин П.А., Денисенко В.И. К выбору конструкции стартера–генератора транспортного средства // Статья в настоящем сборнике. Екатеринбург: УрФУ, 2010. С. 102-104.
2. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: Учеб. для вузов / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жданов. М.: Высш. шк., 1989. 239 с.
3. Аэродинамика и теплопередача в электрических машинах / А.И. Борисенко [и др.]. М.: Энергия, 1974.

## **АНАЛИЗ ИНВЕСТИЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ ОАО «НЯГАНСКИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ»**

*Котляров И.И., Ильшева М.А.  
УрФУ*

В настоящее время жилищно-коммунальное хозяйство в Российской Федерации – это многоотраслевой комплекс, который включает в себя взаимосвя-

висимые, но в то же время и достаточно автономные предприятия и организации социальной и производственной сферы. Их деятельность прямо или косвенно связана с удовлетворением потребности населения в жилье и коммунальных услугах.

В результате непоследовательности реформы экономики, реформирования отношений между жилищной и коммунальной сферами экономики, недостаточного поступления средств в жилищно-коммунальную сферу, отсутствия подготовленных и квалифицированных кадров в отрасли жилищно-коммунального хозяйства и других возможных ошибок и упущений возникла некая деградация объектов коммунальной сферы и жилых зданий. Назрела проблема восстановления сильно изношенных, разрушающихся сооружений коммунальной инфраструктуры и жилого фонда.

Реформирование жилищно-коммунального хозяйства по пути социальной ответственности – важнейшее условие эффективности развития города Нягани. Основным направлением инвестиционной деятельности ОАО «НЭРС» является модернизация материально-технической базы. Финансовые ресурсы, направляемые на реализацию инвестиционных мероприятий, участвуют в многоэлементном процессе, включающем административные, технические, технологические, институциональные, финансовые, социальные решения. Конечная цель – улучшение качества жизни населения города Нягани. Источником инвестиционных ресурсов являются собственные средства предприятия, средства федерального, окружного и городского бюджетов, а также долгосрочные кредиты банков.

Для ОАО «НЭРС» важно заботиться о здоровье населения г. Нягани, делать жизнь горожан безопасной и комфортной. Эти задачи призваны решать и инвестиционные программы предприятия. Необходимое финансирование для их реализации обеспечивается за счет надбавок к тарифам на коммунальные услуги. Причем суммы надбавок точно выверены, просчитаны, минимальны в условиях сегодняшней жизни.

Жилищно-коммунальный комплекс города, уже несколько лет находящийся в стадии реформирования, остается зоной повышенных социально-экономических и политических рисков. По-прежнему на не самом высоком уровне находится как качество обслуживания жилья, так и качество предоставляемых услуг.

Серьезной проблемой в управлении жилищным фондом является отсутствие понимания проводимых реформ в сфере ЖКХ со стороны населения, недостаточная информированность о своих Управляющих компаниях, о своих правах и обязанностях как потребителя услуг ЖКХ и собственника жилого помещения.

Результатами этого стали:

- отсутствие желания населения изучать и понимать нововведения в сфере ЖКХ и преимущества рыночных отношений;
- некачественная и недостаточная работа с потребителями со стороны Управляющих компаний;

- низкий профессиональный уровень работников предприятий, которые непосредственно, каждый день работают с потребителем;
- неумение и нежелание довести до потребителей условия новых реформ в сфере ЖКХ;
- несоблюдение прав потребителей, неумение и нежелание со стороны работников отрасли выстраивать рыночные взаимоотношения с потребителем (клиент-поставщик), грамотно и обоснованно разъяснять потребителям их обязательства;
- отсутствие конкуренции в отрасли.

Кроме вышеперечисленного, к основным проблемам ЖКК также относятся и физический (моральный) износ оборудования предприятий жизнеобеспечения и инженерных сетей. На сегодняшний день из-за высокого износа тепловых сетей (68 %) наблюдается высокий уровень потери тепловой энергии в сетях, дефицит тепловых мощностей, высокие затраты на транспортировку теплоносителя. Из-за высокого износа сетей водоснабжения и водоотведения наблюдается дефицит мощности водозаборных сооружений, а также неравномерный водоотбор с площадок водозаборных скважин. Требуется ежегодная промывка и ревизия инженерных сетей города, в связи с налипанием на стенки трубопроводов отложений от воды за отопительный период.

Все вышеперечисленные проблемы значительно влияют на качество предоставляемых населению жилищно-коммунальных услуг, в результате чего возникла необходимость в разработке долгосрочной целевой Программы «Комплексные меры, направленные на повышение качества предоставляемых жилищно-коммунальных услуг населению города Нягани на 2010-2013 годы».

Основной целью Программы является повышение качества жизни населения города Нягани за счет обеспечения устойчивого функционирования и развития жилищно-коммунального комплекса, инженерной, дорожной инфраструктуры.

Для достижения поставленной цели должны быть решены следующие задачи Программы:

1. Строительство, реконструкция и модернизация инфраструктуры жилищно-коммунального хозяйства.
2. Реализация ряда программ и подпрограмм по строительству, реконструкции и модернизации инженерной инфраструктуры жилищно-коммунального хозяйства.
3. Обеспечение подготовки и переподготовки кадров организаций коммунального комплекса.
4. Налаживание обратной связи с населением посредством СМИ, сети Интернет, организации различных конкурсов в сфере ЖКХ.

Кроме внутренних проблем предприятия, касающихся технической стороны процесса по выработке, транспортировке и реализации тепловой энергии, немаловажную роль в части сбытовой деятельности ОАО «Няганские энергетические ресурсы» играет внешняя среда.

Несмотря на то, что функции по реализации, контролю и качеству предоставляемых услуг находятся в ведении специалистов организации, которые



имеют достаточно высокий уровень специальной подготовки и образования, на предприятии недостаточно эффективно ведется работа с абонентами, а именно имеет место банальное хищение тепла и неплатежи потребителей тепловой энергии.

Данные факты были выявлены в ходе анализа, проведенного специалистами предприятия ОАО «Няганские энергетические ресурсы», в части соответствия объема сжигаемого топлива для выработки тепловой энергии и фактически реализуемой продукции (тепла) потребителям услуг г. Нягань.

Для решения проблем, касающихся устойчивой работы предприятия на рынке предоставления услуг по тепловодоснабжению в г. Нягань, ОАО «Няганские энергетические ресурсы» необходимо разработать «Портфель проектов» который должен включать:

1) отказ от больших районных котельных и магистральных сетей большой протяженности и строительство новых локальных источников теплоснабжения, работающих в автоматизированном режиме без постоянно присутствующего персонала (для каждого микрорайона, либо индивидуальных котельных для отдельно стоящих объектов), что значительно снизит:

- затраты на выработку тепловой энергии в связи с установкой нового оборудования с высоким КПД и отсутствием потерь на собственные нужды котельной;
- затраты на транспортировку теплоносителя (снижение тепловых потерь в сетях и электроэнергии на перекачку теплоносителя) в связи с локализацией района теплоснабжения и уменьшения протяженности тепловых сетей;
- затраты на проведение ремонтных работ технологического оборудования и инженерных сетей;

2) реконструкцию источников теплоснабжения, работающих на нефтяном топливе, перевод на природный газ с установкой нового оборудования работающего, в автоматизированном режиме, без постоянно присутствующего персонала, что обеспечит:

- снижение затрат на выработку тепловой энергии в связи с установкой нового оборудования с высоким КПД и отсутствием потерь на собственные нужды котельной;
- снижение затрат на проведение ремонтных работ технологического оборудования и инженерных сетей;

3) реконструкцию инженерных сетей с применением новых материалов трубопроводов (сшитый полиэтилен) и улучшенными типами тепловой изоляции, что даст:

- снижение затрат, связанных с потерями тепловой энергии через изоляцию тепловых сетей;
- снижение затрат на выполнение ремонтных работ (срок службы трубопроводов 50 лет).

Данный портфель проектов обеспечит реализацию инвестиционной стратегии предприятия ОАО «Няганские энергетические ресурсы», что выведет на

качественно новый уровень энергосбережения в сфере ЖКХ г. Нягани и существенно улучшит качество предоставляемых услуг населению.

## **ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ВЛАГОПЕРЕНОСА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ХРАНЕНИЯ СОЧНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

*Кузнецов Е.П., Кучеренко М.Н.  
Тольяттинский государственный университет*

Современные тенденции развития экономики повышают, прежде всего, требования к наиболее рациональному использованию энергии в различных отраслях производства, в том числе и в сельском хозяйстве. Одной из проблем сельскохозяйственного производства является существенные потери сочного растительного сырья (СРС) вследствие неправильного его хранения. Необходимо создание современных технологий управления микроклиматом в помещениях, предназначенных для хранения продукции. Создание таких технологий возможно только при общем учете биологических характеристик сырья, динамики нестационарных процессов тепломассообмена и выявлении движущих сил тепломассопереноса.

Конечная задача хранения сочного растительного сырья – при заданном температурно-влажностном режиме – максимальная сохранность влаги в сырье. Рассмотрим решение задачи сохранности влаги в сырье, используя термодинамический подход, основанный на теории потенциала влажности. В этом случае для характеристики состояния влаги в системе «насыпь СРС - воздух» используется единое термодинамическое уравнение состояния относительного изменения свободной энергии для влаги в жидком состоянии в виде:

$$dF_{ж} = -s_{ж}dT + \left( -\frac{p_{ж}}{\rho_{ж}} + \mu_{ж} + \sum \mu_{жj} + \Theta_z \right) dm_{ж}, \quad (1)$$

где  $s = \partial F / \partial T$  – энтропия;  $p = \partial F / \partial V$  – давление;  $\mu = \partial F / \partial m$  – химический потенциал фазы.

Согласно теории потенциала влажности, движущей силой процесса влагообмена является градиент или разность потенциалов влажности, которая определяет возможность, направление переноса и предел переходного процесса влагообмена для взаимодействующих сред.

Влагодоток  $W$ , г, от насыпи СРС массой  $G_{мат,т}$ , к продувочному воздуху (луч А-С, рис. 1):

$$W = \alpha_{\theta} (\theta_C - \theta_A) G_{мат}, \quad (2)$$

где  $\theta_A$ ,  $\theta_C$  – начальный и конечный потенциал влажности воздуха в слое продукции, в процессе хранения, °В;  $\alpha_{\theta}$  – коэффициент влагопереноса, кг/(кг·ч·°В).

Величина потенциала влажности  $\theta$  на входе в корректирующий слой определяется параметрами подаваемого воздуха и определяется графически по  $I-d-\theta$  диаграмме.

Изменение параметров охлаждающего воздуха на  $I-d-\theta$ -диаграмме изображено на рис. 1. В корректирующем слое воздух увлажняется от  $\varphi_{в0}$  до  $\varphi_{в} \cong \varphi_p$  и одновременно нагревается от  $t_{в,0}$  до температуры нижней части основного слоя  $t_{кmin}$  (процесс  $AB$ ). Потенциал влажности воздуха вблизи поверхности хранящейся растительной массы  $\theta_{нов}$  зависит от выделяемой в хранилищах влаги от дыхания и гниения.

Воздух удаляется из насыпи с параметрами точки  $C$  ( $t_{к, max}$ ,  $\varphi_p$ ,  $\theta_c$ ).

В процессе хранения разность потенциалов влажности поверхности сырья и воздуха  $\Delta\theta$  определяется только разностью температур поверхности хранящегося сырья и воздуха  $\Delta t$  ввиду постоянного значения относительной влажности воздуха ( $\varphi = \varphi_p = const$ ).

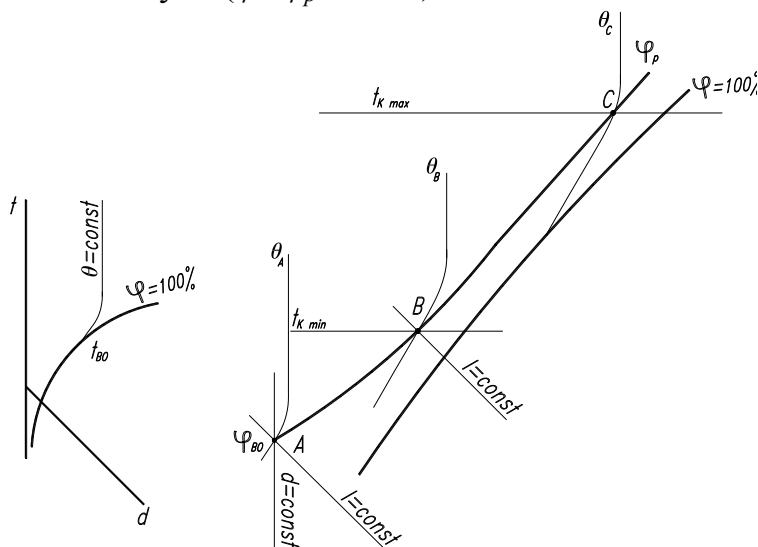


Рис. 1. К расчету коэффициента влагопереноса  $\alpha_\theta$

Коэффициент  $\alpha_\theta$  по своему физическому смыслу является показателем интенсивности процесса влагопереноса.

Следует отметить, что значение коэффициента массообмена  $\alpha_\theta$  зависит от многих параметров, в частности от сортовых особенностей продукции, физико-механических показателей слоя, режимов эксплуатации систем кондиционирования микроклимата.

В то же время, количество влаги, поглощаемое воздухом, равно:

$$W = G_e (d_3 - d_1), \quad (3)$$

где  $G_e$  – расход продувочного воздуха, кг/ч, определяемый как

$$G_e = g_e G_{mat}, \quad (4)$$

где  $g_e$  – удельный расход воздуха, кг/(ч·т)

Из условия равенства выражений (6) и (7) получаем:

$$\alpha_\theta = \frac{g_e (d_3 - d_1)}{\theta_3 - \theta_1}. \quad (5)$$

Зависимость коэффициента массообмена  $\alpha_\theta$  от перепада температур носит экспоненциальный характер. Однако в диапазоне значений перепада температур от 0 до 10 °C график функции представляет собой линейную зависимость. Графическая зависимость  $\alpha_\theta = f(t)$  для насыпи СРС, построенная на основе аналитических расчетов, приведена на рис. 2. Для аналитического определения коэффициента массообмена  $\alpha_\theta$ , с достаточной для инженерных расчетов степенью точности, предложено использовать следующие выражения:

$$\begin{aligned}
&\text{при } 10 < g_s < 20 & \alpha_\theta &= 0,25 \cdot \Delta t + 2,94; \\
&\text{при } 20 < g_s < 30 & \alpha_\theta &= 0,42 \cdot \Delta t + 4,9; \\
&\text{при } 30 < g_s < 40 & \alpha_\theta &= 0,59 \cdot \Delta t + 6,86,
\end{aligned}
\tag{6}$$

где  $\Delta t$  - температурный перепад уходящего и подающего воздуха, °С;  
 $g_s$  – удельный расход воздуха, кг/(ч·т).

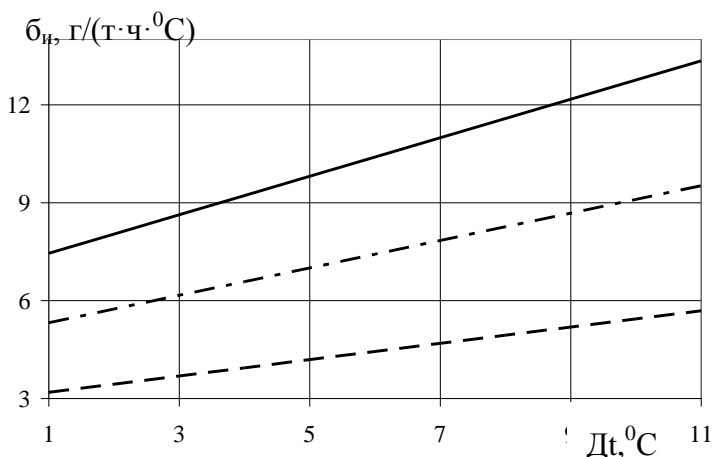


Рис. 2. Значения коэффициента  $\alpha_\theta$  в слое СРС в зависимости от удельного расхода продувочного воздуха:

- - при  $10 < g_s < 20$ ;
- - - - - при  $20 < g_s < 30$ ;
- — — — — при  $30 < g_s < 40$ .

Использование предложенных зависимостей определения коэффициента массопереноса в слое сочного растительного сырья значительно упрощает инженерный расчет процессов тепломассообмена в слое биологически активной продукции, позволяет оценить ассимилирующую способность тепла и влаги продуваемого воздуха через потенциал влажности, определить зоны усушки и возможного увлажнения сырья в зависимости от тепло- влажностных характеристик подаваемого воздуха и способа продувки.

Методика расчета с использованием  $I-d-\theta$  диаграммы позволяет графически либо аналитически определить величину потенциала влажности воздуха и количество влаги, удаляемое из материала в процессе хранения, определить численные значения коэффициента влагопереноса  $\alpha_\theta$ , а также наглядно оценить возможность и пределы протекания процессов влагообмена в слое растительного сырья.

#### Библиографический список

1. Жадан В.З. Теоретические основы кондиционирования воздуха при хранении сочного растительного сырья. М.: Пищевая промышленность, 1972. 238 с.
2. Бодров В.И. Хранение картофеля и овощей: Инженерные методы создания и поддержания технологического микроклимата. Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1985. 220 с.
3. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений / В.И. Бодров [и др.]. Н. Новгород: ННГАСУ, 2008. 623 с.
4. Богословский В.Н. О потенциале влажности // ИФЖ. 1965. Т. 8. С. 216–222.

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СИММЕТРИЧНЫХ КОМПЕНСИРОВАННЫХ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Кузьмина Е.В., Самохин П.А., Тычкова О.С.  
Южно-Уральский государственный университет  
alenska139kuzmina@mail.ru

Электроснабжение городского, промышленного и магистрального железнодорожного электрического транспорта, работающего на постоянном токе, осуществляется, как правило, с помощью диодных некомпенсированных выпрямительных агрегатов. Несмотря на использование неуправляемого режима работы, некомпенсированные выпрямительные агрегаты являются потребителями значительной величины реактивной мощности. К недостаткам таких агрегатов следует отнести и существенное снижение напряжения в рабочей зоне контактной сети при возрастании числа единиц подвижного состава в ней. Это, с одной стороны, ухудшает экономические и эксплуатационные характеристики транспорта, находящегося в рабочей зоне, а с другой стороны, приводит к динамическим ударам на электрическое оборудование того транспорта, который переходит в другую зону с более высоким напряжением. Повышенное гармоническое воздействие НВП на питающую и контактную сеть, а также на сам электрический транспорт, не обеспечивает необходимый уровень электромагнитной совместимости в системе электроснабжения (СЭС). Последнее особенно проявляется в СЭС городского электрического транспорта, где продолжается использование шестифазных некомпенсированных выпрямителей.

Отмеченные и другие проблемы эффективно решаются при применении специализированных двенадцатифазных симметричных компенсированных выпрямительных агрегатов (СКВА) с пятой и седьмой гармониками напряжения на коммутирующих конденсаторах. Двенадцатифазный преобразователь содержит пару 6-фазных преобразовательных блоков с длительностью вентильных токов  $\lambda = 120$  эл. град. Условимся под входным током блока понимать фазный ток приведенной к трем фазам питающей сети 6- фазной системы вентильных токов блока. При приведении четные гармоники противофазных вентилей вычитаются. Поэтому спектр входного тока каждого блока содержит гармоники порядка  $k = 6s \pm 1$ , где  $s = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Значениям  $s = 0, 2, 4, \dots$  отвечают четно-кратные, а значениям  $s = 1, 3, 5, \dots$  – нечетно-кратные гармоники входных токов блоков. Сформулируем общий алгоритм построения указанных выше СКВА.

1. При сохранении порядка работы вентилей осуществляют сдвиг мгновенных значений входных токов блоков на угол  $\pi/6$ . При этом фазовые сдвиги одноименных гармоник этих токов становятся равными:

$$\Delta\psi_{kl} = \pi k / 6 = \pi(6s \pm 1) / 6. \quad (1)$$

2. Проводят корректировку фазовых сдвигов гармоник в сторону восстановления совпадения фаз первых гармоник токов блоков на углы  $\mp \pi/6$ . После корректировки фазовые сдвиги гармоник составляют:

$$\Delta\psi_{k2} = \pi(6s \pm 1)/6 \mp \pi/6 = \pi s. \quad (2)$$

3. Суммарный спектр, в соответствии с (2) представляющий сумму синфазных четно-кратных гармоник входных токов блоков направляют в питающую сеть.

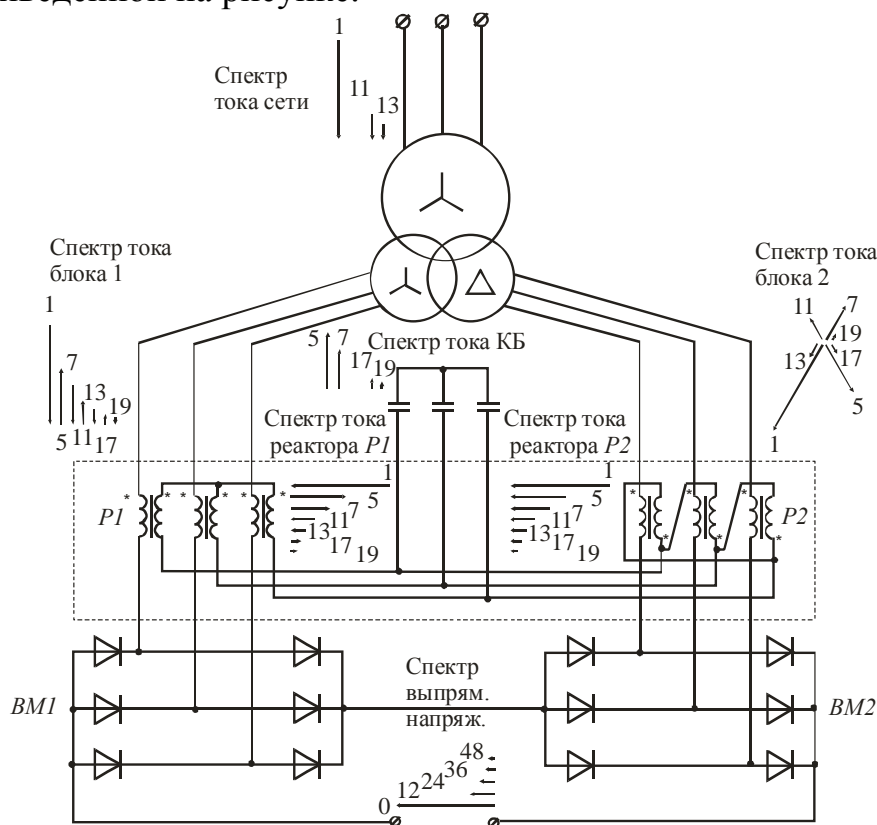
4. Выполняют инвертирование спектра входного тока одного блока по отношению к другому. В результате фазовые сдвиги одноименных гармоник становятся равными:

$$\Delta\psi_{k3} = \pi s + \pi = \pi(s + 1). \quad (3)$$

5. Суммарный спектр, в соответствии с (3) состоящий из синфазных нечетно-кратных гармоник входных токов блоков, направляют (фильтруют) в коммутирующие конденсаторы КУ.

6. Осуществляют согласование коммутирующего и номинального напряжений конденсаторной батареи.

Проиллюстрируем реализацию описанного алгоритма на примере СКВА по схеме, приведенной на рисунке.



Принципиальная схема двенадцатифазного СКВА

Первый пункт алгоритма обеспечивается сдвигом входного тока второго блока по отношению к первому блоку на 30 эл. град. за счет соединения вентильной обмотки второго блока в треугольник. Пусть обмотки первого блока имеют двенадцатую, а второго – первую группу соединения. Тогда соответствующие гармоники в спектре входного тока этого блока по отношению к пер-

вому блоку имеют начальные фазы, равные 30, 150, 210, 330, 390, 510, 570, ... эл. град. (см. спектры токов блоков 1 и 2).

Второй пункт алгоритма реализуется изменением (корректировкой) начальных фаз всех гармоник входного тока второго блока на  $-30$  эл. град. Эта корректировка по отношению к питающей сети также осуществляется трансформатором, причем для гармоник, образующих прямой порядок следования фаз (1, 7, 13, 19, ...) фаза корректируется на  $+30$  эл. град., а для гармоник, образующих обратный порядок следования фаз (5, 11, 17, ...) на  $-30$  эл. град. В результате нечетно-кратные гармоники токов (1, 11, 13, ...) первого и второго блоков становятся синфазными, а четно-кратные гармоники (5, 7, 17, 19, ...) – противофазными.

Третий пункт обеспечивается тем, что сетевой ток определяется суммой входных токов блоков, в сети проявляются лишь четно-кратные 1, 11, 13, ... гармоники токов блоков (см. спектр тока сети на рисунке).

Четвертый пункт реализуется соединением вторичных обмоток реакторов  $P1$  и  $P2$  в звезду и восстанавливающий треугольник, а также их встречным включением. В результате синфазные четно-кратные гармоники токов протекают по вторичным обмоткам реакторов, минуя конденсаторную батарею (см. спектры токов реакторов  $P1$  и  $P2$  на рисунке). Нечетно-кратные гармоники токов реакторов являются противофазными.

Пятый пункт обеспечивается тем, что ток в конденсаторной батарее определяется суммой противофазных нечетно-кратных гармоник токов вторичных обмоток реакторов  $P1$  и  $P2$ . В конденсаторы фильтруются 5, 7, 17, 19, ... и т.п. гармоники токов преобразовательных блоков. Они создают напряжения на конденсаторах с аналогичным спектром. Эти напряжения содержат преимущественно пятую и седьмую гармоники. Трансформация напряжений на конденсаторах в контуры коммутации первого и второго блоков обеспечивает решающую указанные выше проблемы опережающую одноступенчатую искусственную коммутацию вентилей СКВА.

Шестой пункт реализуется соответствующим выбором коэффициентов трансформации реакторов  $P1$  и  $P2$ .

В докладе приводятся результаты цифрового моделирования рабочих и аварийных электромагнитных процессов в СЭС с СКВА, выполненные в пакете MATLAB. Результаты моделирования подтверждены экспериментальными исследованиями СКВА на преобразовательном стенде кафедры «Системы электроснабжения» ЮУрГУ. Приводится инженерная методика расчета основных характеристик СКВА и параметров компенсирующего устройства. Результаты расчета для разработки агрегата передаются в ЗАО «Энергомаш (Екатеринбург) – Уралэлектротяжмаш».

#### *Библиографический список*

1. Хохлов Ю.И. Применение компенсированных выпрямителей для питания тяговой нагрузки // Электричество. 2008. № 4. С. 58–63.

## К ОЦЕНКЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СПОСОБА ПРОПИТКИ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА КОМПАУНДАМИ С ТЕПЛОПРОВОДЯЩИМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

*Кычанов М.В., Лыткин В.В., Ягунов А.И., Денисенко В.И., Пластун А.Т.  
УрФУ*

*E-mail: kem\_em@mail.ustu.ru*

На кафедре «Электрические машины» УрФУ впервые предложено использовать известный метод ультразвуковой пропитки обмоток для асинхронных двигателей с всыпными обмотками для пропитки компаундами с теплопроводящими наполнителями. Суть метода заключается в применении пропиточных составов на основе кремнийорганического лака марки КО 916К с оксидонитридом алюминия в качестве наполнителя в виде нанопорошка, а сама пропитка осуществляется с применением ультразвука, что в комплексе позволяет повысить как электрическую прочность изоляции обмоток, так и увеличить теплопередачу через изоляцию обмотки.

Описание преимуществ, технологического процесса и первого опыта ультразвукового способа пропитки компаундами с теплопроводящими наномодифицированными наполнителями приведены в [1, 2]. На основе выполненного анализа были сформулированы рекомендации по совершенствованию ультразвукового способа пропитки пропиточным

компаундом с нанопорошком оксидонитрида алюминия в качестве теплопроводящего наполнителя и технологии обмоточных работ.

Для реализации рекомендаций по совершенствованию способа ультразвуковой пропитки с теплопроводящими наполнителями кафедры «Электрические машины» совместно с кафедрой «Редкие металлы и наноматериалы», с предприятиями ЗАО «Уралэлектромаш» и ЗАО «РЭЛТЕК» внесли соответствующие изменения в технологический процесс [3].

Ультразвуковая пропитка осуществлялась с использованием соответствующим образом подобранного стандартного оборудования. В соответствии с рекомендациями увеличена мощность оборудования.



Рис. 1. Общий вид установки ультразвуковой пропитки

Для пропитки применен ультразвуковой генератор модульного типа УЗГ3-4 с магнитострикционным преобразователем ПМС-2,5-18, объединенным с пропиточной ванной в единый блок (рис. 1).



Магнитострикционный преобразователь с максимальной акустической мощностью не менее 0,9 кВт установлен на дне пропиточной ванны. По сравнению с предыдущим циклом испытаний [1, 2] акустическая мощность ультразвукового оборудования увеличена не менее чем на 20 %.



Рис. 2. Пропитка обмотки статора с применением ультразвука

Процесс пропитки опытных образцов по уровням температур и по времени на каждом этапе был аналогичен технологии пропитки серийных двигателей, принятой в ЗАО «Уралэлектромаш» при использовании кремнийорганического лака марки КО 916К с растворителем ксилолом.

Для лучшего проникновения пропиточного компаунда в пазовую и лобовую части обмотки исключено бандажирование лобовых частей плотной стеклотканью. Бандажирование выполнено крепким шнуром. После рихтовки и бандажировки лобовых частей перед пропиткой вынуты все пазовые клинья. Для уменьшения объема пропиточного пространства и его ограничения станина двигателя с обмотанным статором с нижнего торца герметично закрывается технологической крышкой (пластиной) и устанавливается вертикально внутрь пропиточной ванны. Затем внутрь статора заливается пропиточный состав до половины высоты статора. Ультразвуковые колебания от магнитострикционного преобразователя передаются пропиточному составу посредством водной среды через герметизирующую пластину. Для уменьшения расхода пропиточного состава, в статор заводится технологическая втулка, при погружении которой высота пропиточного состава поднимается до верхнего торца корпуса статора (рис. 2). Длительность пропитки составляет 25...30 минут.

После пропитки статор вынимают из пропиточной ванны и сливают излишки пропиточного лака. Затем статор помещают в сушильный шкаф с низким давлением воздуха (для подогрева и удаления излишков растворителя) и снова устанавливают в пропиточную ванну для повторной пропитки.

После окончания пропитки статор с обмоткой поступает на сушку изоляции обмотки статора по регламенту сушки кремнийорганического лака марки КО 916К.

Опытный образец двигателя успешно прошел испытания на проверку электрической прочности витковой и корпусной изоляции, проведенные по стандартной методике.

Результаты тепловых испытаний показали, что применение ультразвуковой пропитки компаундом с наноструктурированным наполнителем на основе нитрида алюминия приводит к снижению перегрева обмотки статора в номинальном режиме работы двигателя и увеличению КПД на 0,2...0,3 % по сравнению с КПД серийного двигателя, изготовленного с трехкратной пропиткой обмотки статора по классической технологии.

Таким образом, испытания двигателя показали положительную тенденцию на снижение температуры обмотки статора, как и в предыдущей серии [1, 2]. Однако степень снижения оказалась менее ожидаемой. Анализ результатов технологического процесса ультразвуковой пропитки выявил основной недостаток рассмотренного варианта: мощность ультразвукового генератора оказалась недостаточной для передачи ультразвуковых колебаний от магнитострикционного преобразователя пропиточному составу через герметизирующую пластину толщиной 3 мм. В этом варианте передача ультразвуковых колебаний реализована главным образом в осевом направлении обмотки статора, гидравлическое сопротивление в котором имеет значительную величину. В связи с этим, на дальнейших этапах по усовершенствованию технологии ультразвуковой пропитки компаундами с теплопроводящими наполнителями необходимо наряду с продольным обеспечить радиальное направление передачи ультразвуковых колебаний, а также для усиления продольных ультразвуковых колебаний уменьшить толщину герметизирующей пластины.

Работа выполнена при поддержке Правительства Свердловской области: постановление № 1187 от 30.11.2007 г. «О приоритетных направлениях развития нанотехнологий в Свердловской области на 2008–2010 гг.»

### *Библиографический список*

1. К оценке эффективности ультразвукового способа пропитки обмоток машин переменного тока с использованием нанооксидонитридных наполнителей / М.В. Кычанов, В.В. Лыткин, А.Н. Мойсейченков [и др.] // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009 г., научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых 14–18 декабря 2009 г. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 159–162.
2. Перспективы использования нанооксидонитридных материалов для повышения технико-экономических показателей машин переменного тока / М.В. Кычанов, В.В. Лыткин, А.Н. Мойсейченков, В.И. Денисенко, А.Т. Пластун // Там же. С. 156–150.
3. Оксидно-нитридные материалы для повышения эффективности электромеханических и электромагнитных преобразователей. Разработка технологии изготовления преобразователей с новой изоляцией. Выпуск опытной партии электромеханических преобразователей / Третий этап, часть пятая. Отчет о НИР / ЗАО «Уралэлектромаш»; рук. В.Е. Недзельский. Каменск-Уральский, 2010. 66 с.

## ДВУХЧАСТОТНОЕ ДВУХКОНТУРНОЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА

Лопатин И.Е., Пилипенко С.А., Косых М.И., Шипицын В.В.,  
УрФУ, e-mail: songoku\_86@mail.ru

Двухчастотные преобразователи целесообразно применять для индукционной плавки металлов. Высокочастотная составляющая эффективно нагревает и плавит металл, а низкочастотная составляющая служит для его перемешивания [1].

Схема двухчастотного преобразователя для индукционного нагрева приведена на рис. 1 и состоит из двух идентичных однофазных преобразовательных устройств ОПУ1 и ОПУ2, подсоединенных к клеммам 1 и 2 общего источника питания переменного напряжения  $U_c$ .

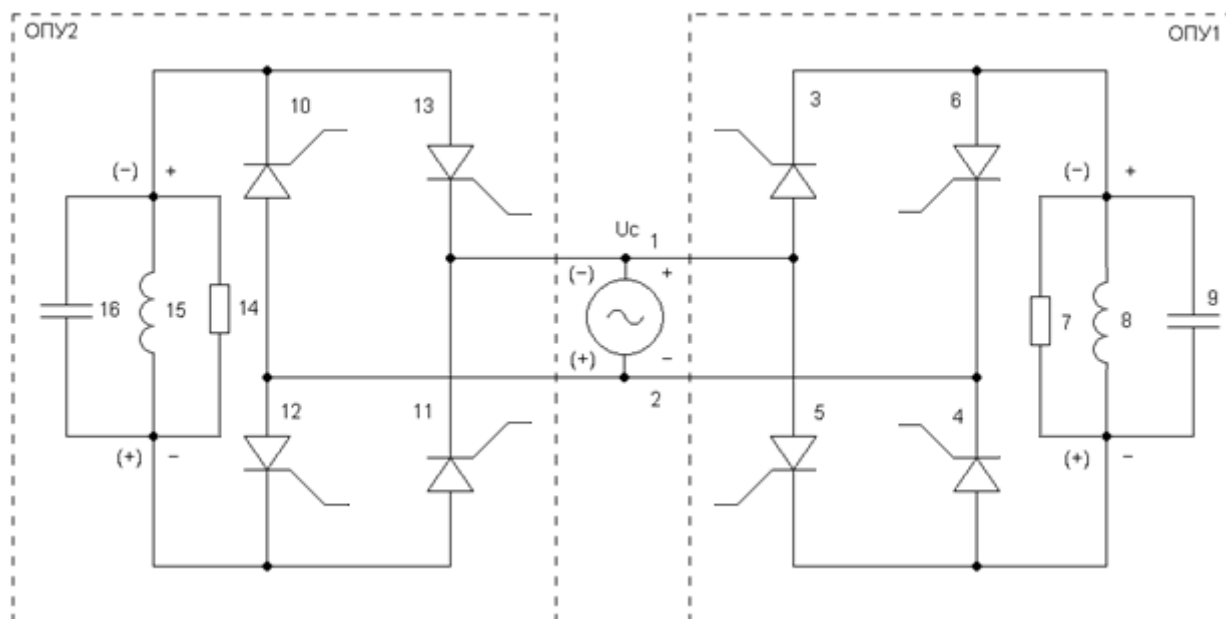


Рис. 1. Принципиальная схема полупроводникового преобразователя частоты

Каждое ОПУ содержит четыре тиристора (3, 4, 5, 6 и 10, 11, 12, 13) и активно-индуктивную нагрузку-индуктор (7, 8 и 14, 15), зашунтированную компенсирующим конденсатором (9 и 16). Такое включение тиристоров позволяет создать в нагрузке двухчастотный ток: высокая частота равна частоте питающей сети ( $U_c$ ), низкая частота организуется путем пропускания определенного числа полупериодов высокой частоты через соответствующие тиристорные пары. На рис. 2 изображен график тока нагрузки.

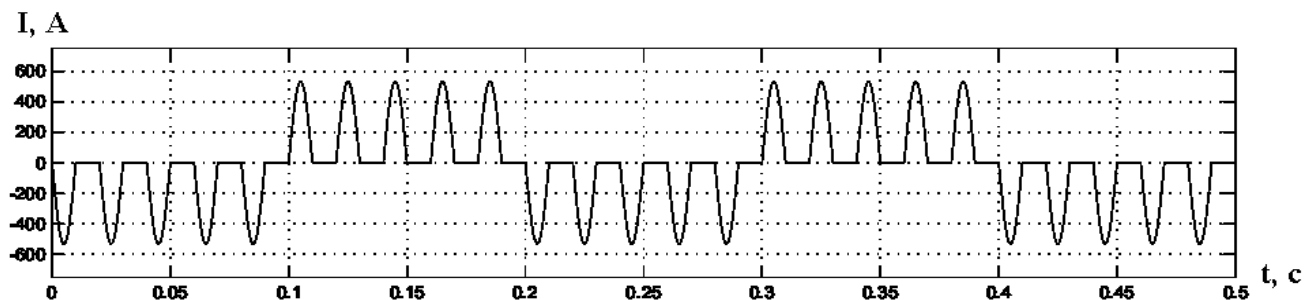


Рис. 2. Ток в нагрузке

В качестве преобразователя можно использовать только ОПУ1, но тогда при полуволне низкой частоты происходит потребление из сети переменного напряжения только одной полярности, что приводит к появлению высших гармоник, которые генерируются в сеть, ухудшая качество электроэнергии. Поэтому для равномерной загрузки сети введено ОПУ2, которое работает, когда тиристоры ОПУ1 закрыты.

Электрическая схема и процессы в ней моделировались в приложении Simulink. На рис. 3, 4 и 5 показаны некоторые характеристики преобразователя в зависимости от сопротивления нагрузки и шунтирующей емкости.

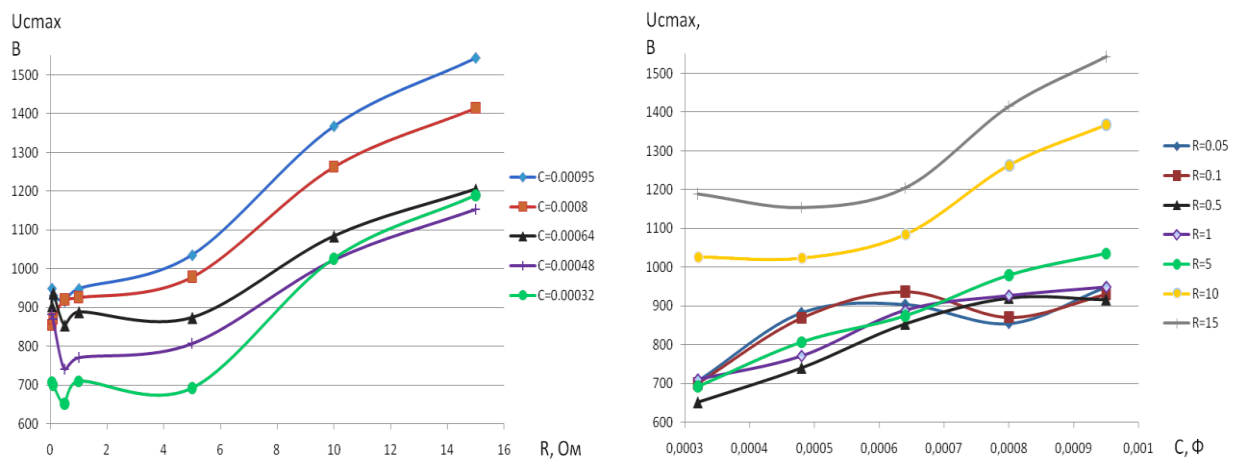


Рис. 3. Зависимость максимального напряжения на нагрузке от сопротивления и емкости

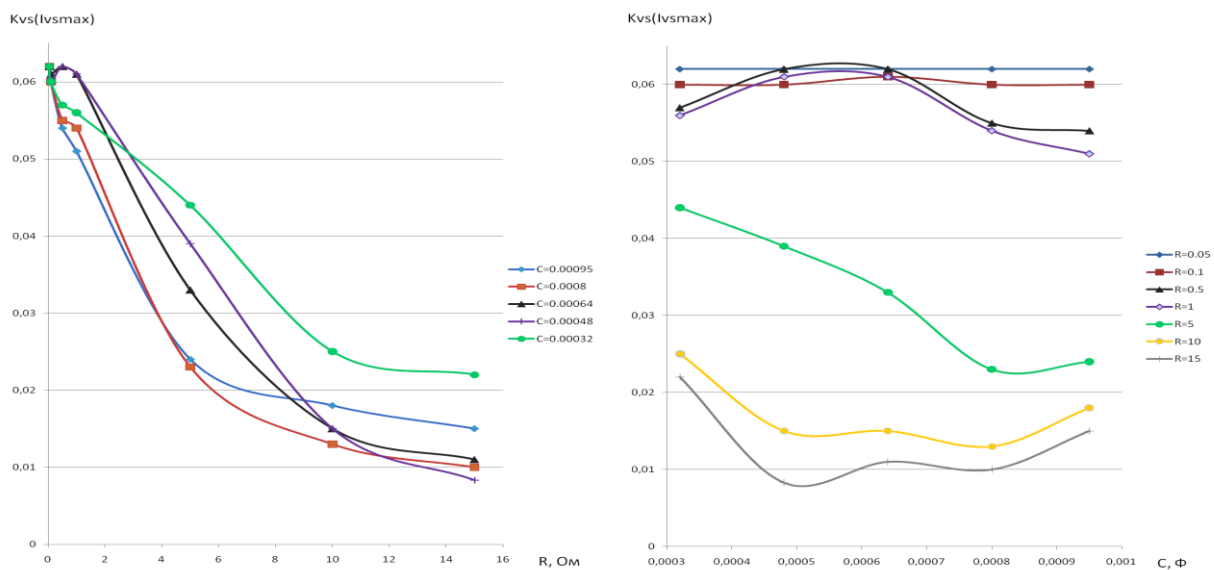


Рис. 4. Зависимость максимального коэффициента использования тиристора от сопротивления и емкости

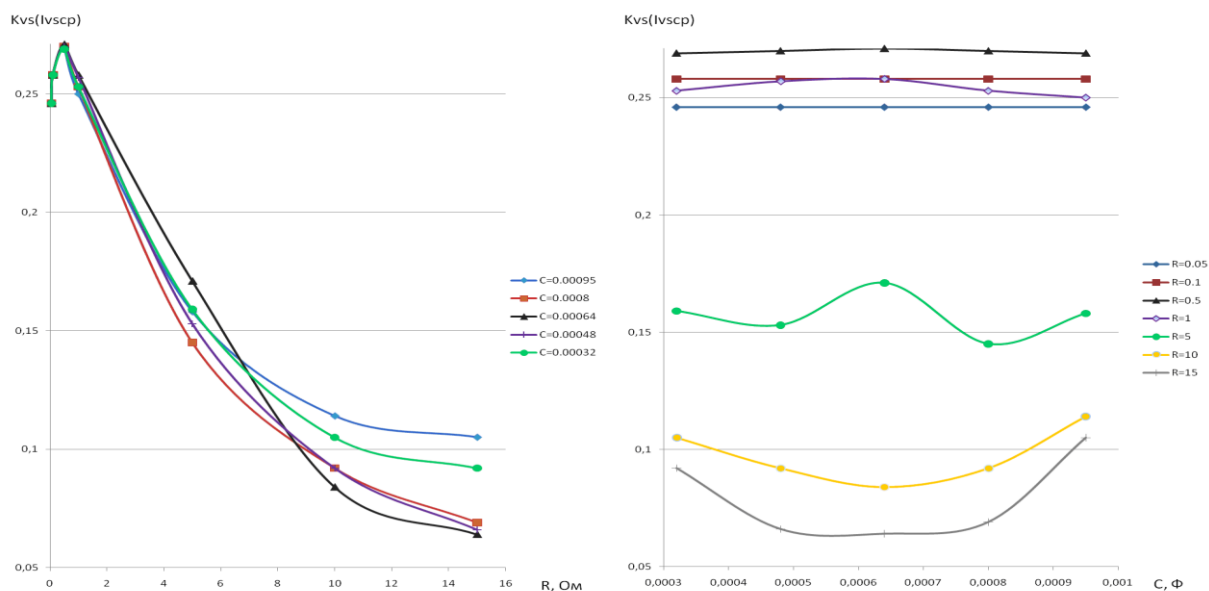


Рис. 5. Зависимость среднего коэффициента использования тиристора от сопротивления и емкости

Применение такой двухконтурной схемы позволяет обеспечить равномерную загрузку сети и исключить генерирование в сеть высших гармоник со стороны преобразователя.

#### *Библиографический список*

1. Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок. / Е.И. Беркович [и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ИНЖЕКЦИИ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ДЛЯ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ**

*Луговых Г.А., Швыдкий В.С.*

*УрФУ*

*GoodLiving@mail.ru*

Несмотря на широкое распространение доменных печей, вопросам математического моделирования физических процессов, протекающих в них, уделяется мало внимания. Между тем, при наличии математической модели тепловой работы печи и отдельных её элементов значительно упрощается задача оптимизации режимов работы, что может позволить сэкономить значительное количество ресурсов, а именно природного газа, кокса и угольной пыли.

Разработанная информационно-моделирующая система, позволяет изучать процессы, протекающие в фурменной зоне доменной печи при инжекции угольной пыли. Цель создания системы - снижение трудозатрат, экономия энергоресурсов и уменьшение времени на получение результатов расчета для проведения дальнейшего анализа как процессов горения углеродосодержащих топлив в фурменной зоне, так и работы доменной печи в целом.

В основе системы лежит квазиодномерная математическая модель, которая описывает совокупность процессов тепло- и массообмена, протекающих в фурменном очаге доменной печи, естественным образом подразделенных на три большие группы [1]:

- блок оболочки фурменного очага;
- блок газификации угольной пыли;
- блок горения угольной пыли.

В рамках выше приведенной классификации, программа позволяет производить следующие расчеты по длине фурменного очага: распределение температуры фурменного газа, локальные значения газификации кокса, интегральные значения газификации кокса, скорость фурменного газа, процентное распределение  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $H_2$ , степень выгорания углерода угольной пыли, выделение летучих, скорость частиц угольной пыли, температура частиц угольной пыли в фурменном приборе.

На рис. 1 представлен результат работы блока газификации угольной пыли. Видно, что процессы в фурменной зоне протекают в соответствии со следующими реакциями:

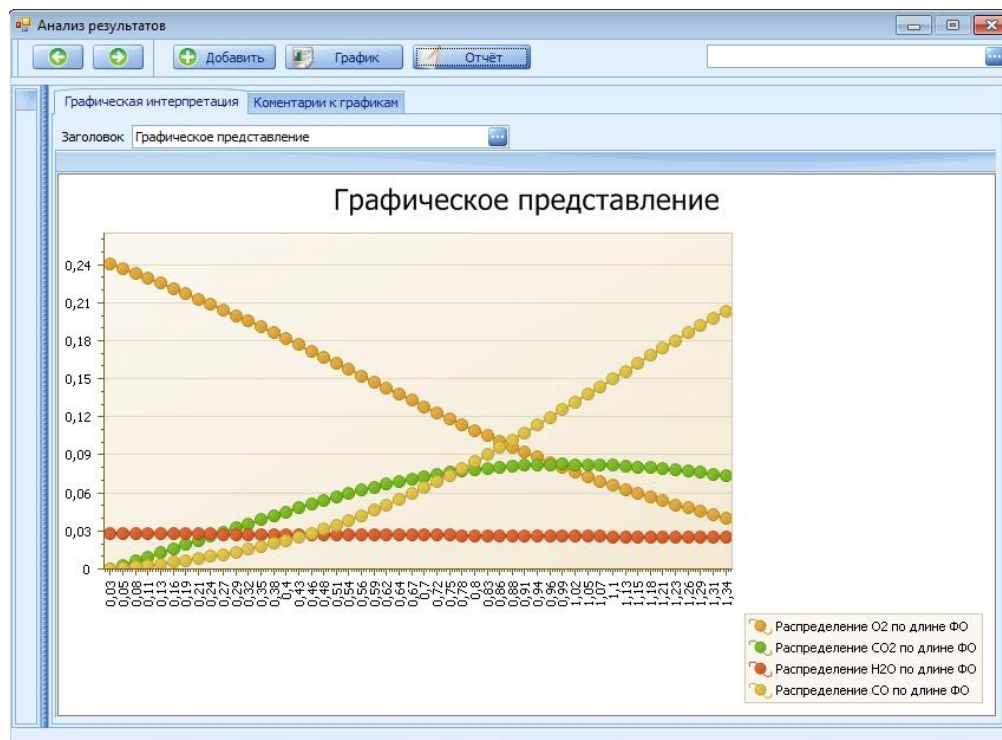
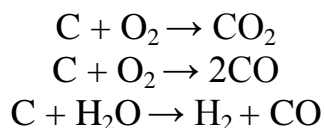


Рис. 1. Распределение газовых составляющих по длине фурменного очага в процентном соотношении



Проводя более детальный анализ работы информационно-моделирующей системы, можно отметить, что она позволяет изучать влияние на тепловую работу горна доменной печи таких параметров, как содержание кислорода в дутье, влажность дутья, расход природного газа, реакционные свойства кокса и т.д. [1]. На рис. 2 показано, каким образом различное обогащение дутья кислородом может повлиять на температуру фурменного газа.

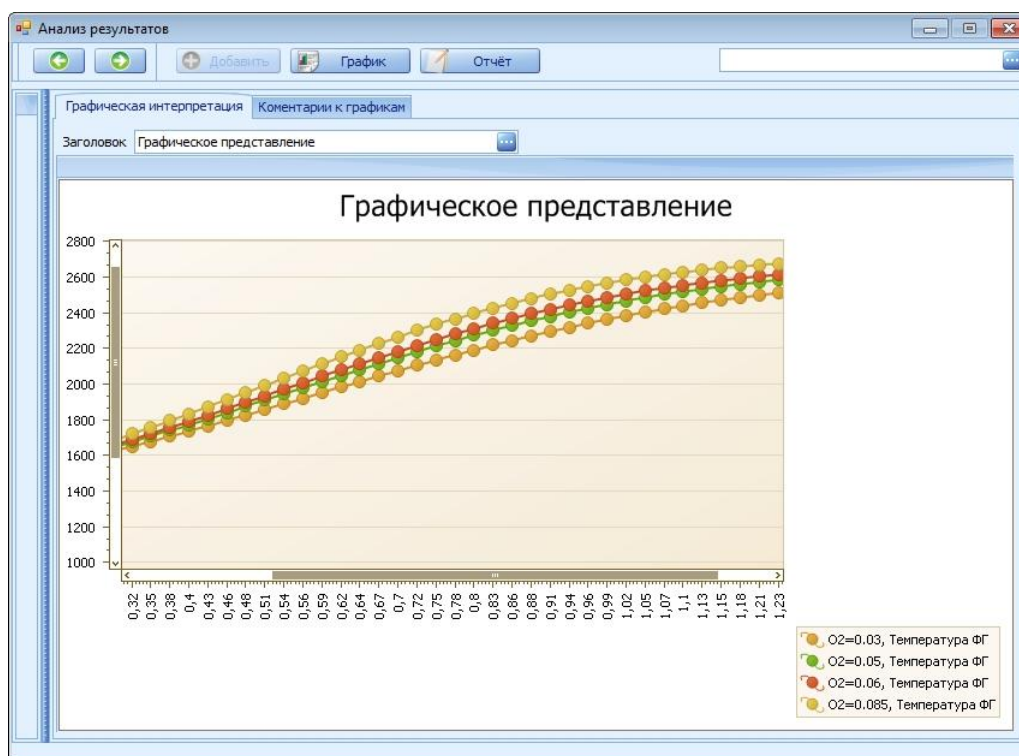


Рис. 2. Изменение температуры газа (К) по длине фурменного очага при различном обогащении дутья кислородом

Причины такого характера изменения температуры заключены в закономерностях газификации (выгорания) углерода кокса.

Таким образом, при переводе доменной печи на новый вид топлива и для его более энергетически выгодного использования, гораздо целесообразнее провести ряд предварительных испытаний в рамках компьютерного моделирования, а не использовать дорогостоящий агрегат.

#### *Библиографический список*

1. Введение в системный анализ теплофизических процессов металлургии: Учебное пособие для вузов / В.С. Швыдкий, Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.И. Лобанов. Екатеринбург: УГТУ, 1999. 205 с.
2. Элементы теории систем и численные методы моделирования процессов тепломассопереноса: Учебник для вузов / В.С. Швыдкий, Н.А. Спирин, М.Г. Ладыгичев, Ю.Г. Ярошенко, Я.М. Гордон. М.: Интернет Инжиниринг, 1999. 520 с.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Малова А.В., Кочева М.А.

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет

Anastasia.Malova001@yandex.ru

Экономия топливно-энергетических ресурсов - важнейшая проблема, решению которой во всём мире уделяется большое внимание. За последние годы в результате комплекса технических, экономических и организационных мероприятий, направленных на сокращение потерь топлива в процессе его использования в теплогенерирующих установках, достигнут высокий технический уровень эксплуатации.

Наиболее перспективным направлением экономии энергии является использование теплоты продуктов сгорания природного газа для различных целей, например, технологических нужд, теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Значительными источниками вторичных энергетических ресурсов являются промышленные печи, в которых сжигается природный газ. Применение продуктов сгорания в качестве теплоносителя могло бы дать существенный экономический эффект. Здесь имеются в виду системы, в которых продукты сгорания последовательно направляются из высокотемпературного источника в средне- и низкотемпературные установки. Такие системы принято называть системами комплексного использования теплоты продуктов сгорания природного газа.

Топливо при этом сжигается не в нескольких установках, а лишь в одной, работающей при максимальной температуре. Отводимые из высокотемпературного агрегата продукты сгорания последовательно проходят через другие теплоиспользующие установки, работающие при более низких температурах. При этом уменьшается объём продуктов сгорания, выбрасываемых в атмосферу, и, таким образом, снижается термическое загрязнение воздушного бассейна и количество вредных выбросов.

Комплексное использование теплоты продуктов сгорания предполагает взаимоувязку источников и потребителей вторичных энергоресурсов по оптимальной схеме с учётом их расходов, температурных уровней, времени выхода и потребности и типа энергоносителей. Элементами систем комплексного использования теплоты являются в основном теплообменники. Анализ показателей использования природного газа показывает, что топливо очень часто используется недостаточно эффективно.

В большинстве случаев промышленные печи работают с весьма низким термическим КПД, величина которого не превышает 20...30 %, что обусловлено, в основном, высокими потерями теплоты с уходящими газами. Наиболее эффективным методом повышения КПД печей, а, следовательно, и экономии топлива является возврат в печь части теплоты, содержащейся в отходящих продуктах сгорания, путём подогрева в рекуператорах и регенераторах воздуха, используемого для горения топлива. Для подогрева воздуха до температуры выше 600...700 °С применяют регенераторы. При подогреве только воздуха на



печи устанавливаются два регенератора, из которых попеременно один охлаждается подогреваемым воздухом, а второй нагревается горячими продуктами сгорания. При подогреве воздуха до 250...300 °С, идущего на сжигание природного газа, экономия составляет 15...20 %. В промышленности хорошо известно применение котлов-утилизаторов. Оно позволяет обеспечить большую экономию топлива путём генерирования пара или нагрева воды за счёт использования вторичной теплоты продуктов сгорания. Установка контактных экономайзеров в качестве низкотемпературной ступени комплексных установок на промышленных предприятиях позволяет в ряде случаев полностью отказаться от выработки пара, который расходуется на нагрев технологической воды, повысить коэффициент использования топлива до 95...97 % при сведении теплового баланса по высшей теплоте сгорания природного газа.

#### *Библиографический список*

1. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. Л.: Наука, 1978. 279 с.
2. Аронов И.З. Использование тепла уходящих газов газифицированных котельных. М.: Энергия, 1967. 192 с.
3. Энергосбережение и охрана воздушного бассейна при использовании природного газа / Б.В. Шанин, Е.Е. Новгородский, В.А. Широков, А.Ф. Пужайло. Н. Новгород: ННГАСУ, 1998. 384 с.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ КОКСОВАНИЯ**

*Мамбетова А.Г., Картавцев С.В.  
Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г. И. Носова*

В установках сухого тушения кокса (УСТК) горячий кокс охлаждается циркуляционным газом от 1000...1200 °С до 250...200 °С. Нагретый газ с температурой 800 °С подается в котел-утилизатор для выработки пара с температурой 350 °С [1].

В данной работе ставится задача оценки эффективности тепловой работы УСТК при охлаждении кокса в интервале температур 1200...200 °С азотом для выработки пара следующих параметров: 4 МПа, 450 °С.

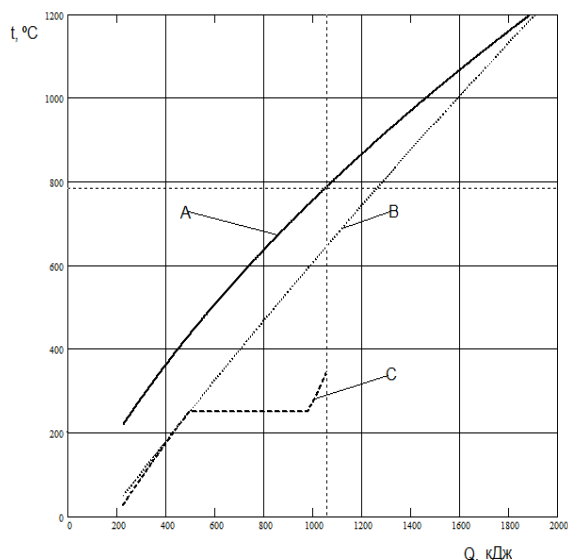
Чтобы оценить тепловую работу УСТК, необходимо построить энтальпийную диаграмму, в которую входят графики охлаждения кокса, нагрева азота и нагрева воды. Температурно-тепловые графики данных материалов выполнены в среде MathCad.

Нагрев N<sub>2</sub> на интервале температур от 50 до 1200 °С однозначно определяет количество N<sub>2</sub>, которое может воспринимать все тепло, содержащиеся в коксе.

Анализ графиков изменения теплового состояния кокса и азота при теплообмене в условиях противотока показывает, что в рассматриваемом диапазоне температур для полного завершения теплообмена необходимо 1,03 м<sup>3</sup> инертного газа. Выяснили, что возможно нагреть на теплоте N<sub>2</sub> 0,553 кг воды.

Известно, что максимальной эффективностью теплообмена обладают равновесные процессы с минимальной разностью температур между греющим и нагреваемым потоками [2].

Мы можем сократить эту разность температур, изменяя количество нагреваемой воды, что и показано на рисунке.



Температурно-тепловой график теплообмена охлаждающегося кокса, нагреваемого азота и воды: А – охлаждение кокса; В – нагрев  $N_2$ ; С – нагрев  $H_2O$  при  $m_{\text{воды}} = 0,28$  кг.

Изобара 4 МПа производства водяного пара включает изотермическую площадку на уровне температуры насыщения  $t_s = 250,36$  °С, которая неизбежно увеличивает разность температур азота и водяного пара.

На основе расчетов и построенных графиков выявили теоретически минимальное количество воды равное 0,28 кг, которое может взять 1058,3 кДж/кг энергии кокса и охладить его от температуры 1200 °С до температуры 789,3 °С.

Достигаемая конечная энтальпия пара делит температурный интервал охлаждения кокса на две части: низкотемпературную (789,3...0 °С) и высокотемпературную (1200...789,3 °С).

Если процесс охлаждения кокса азотом с последующим нагревом воды эффективен только до температуры 789,3 °С, то необходимо выяснить возможные другие способы охлаждения в высокотемпературной зоне, т. е. выше 789,3 °С.

Поиск наиболее эффективного направления использования горячего кокса можно вести по дальнейшей технологической цепочке черной металлургии.

Кокс охлаждающийся в УСТК от 1200 °С до 220 °С и далее (вне УСТК) – до температуры окружающей среды, впоследствии загружается в домы и вновь нагревается по тому же температурно-тепловому графику от температуры окружающей среды до 1200 °С и выше. В этом состоянии кокс используется для восстановления агломерата и железорудных окатышей и это – основной, целевой и самый энергоемкий процесс черной металлургии.

Таким образом, в интервале температур 800-1200 °С процессы в УСТК и доменной печи во многом аналогичны и различаются только направлением.

Следовательно, охлаждение кокса в УСТК в высокотемпературной части может быть использовано аналогично доменному процессу.

Если учесть, что железорудный агломерат отличается повышенной хрупкостью при перегрузках и пересыпках, то эффективным решением охлаждения кокса в высокотемпературной части может оказаться восстановление коксом преимущественно железорудных окатышей в различных вариантах [3].

#### *Библиографический список*

1. Куперман Л.И., Романовский С.А., Сидельковский Л.Н. Вторичные энергоресурсы и энерготехнологическое комбинирование в промышленности. 2-е изд., перераб. и доп. К.: Вища школа, 1989. 303 с.
2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент.: Справочник / Под общей ред. чл.-корр. АН СССР В.А. Григорьева, В.М. Зорина. 2-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1988. 560 с.
3. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман, Б.Н. Жеребин, А.Н. Похвиснев, Ю.С. Юсфин, В.М. Клемперт. М.: Металлургия, 1989. 512 с.

### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕМЕШИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ АППАРАТА С МЕШАЛКОЙ**

*Морданов С.В., Хомяков А.П.*

*УрФУ*

*s.v.mordanov@gmail.com*

Расчет мощности привода мешалки в соответствии с классическими методиками [1, 2] не может быть осуществлен чисто аналитически. Мощность привода является функцией определяемого экспериментально для каждого типа мешалок *критерия мощности*. *Критерий мощности* зависит от гидродинамической картины в аппарате (значения числа  $Re$ ) и формы мешалки.

Следует отметить, что значения *критерия мощности* даже для мешалок схожего назначения, при одних и тех же скоростных режимах могут отличаться в разы [3]. Следовательно, выбор конструкции перемешивающего устройства существенно влияет не только на технологические параметры производственного процесса, но и на энергетическую эффективность работы аппарата с мешалкой.

Так как расчет мощности требует знания опытных данных, расчет нестандартных мешалок вызывает существенные затруднения. Выходом из сложившейся ситуации может послужить применение метода конечных элементов в его современном приложении вычислительной гидродинамике (англ. *CFD – Computational Fluid Dynamics*).

Методика *CFD* моделирования аппаратов с мешалками отработана [4, 5] и позволяет получать адекватные результаты со сходимостью опытных и расчетных данных 90...95 % [5].

В рамках представленной работы методами вычислительной гидродинамики были рассчитаны мешалки аналогичного назначения для вязких сред (рис. 1): ленточная мешалка [1, 2], мешалка *Paravisc EKATO* [6], и мешалка *Paravisc* измененной конструкции [6].

Расчет всех мешалок осуществлялся в условиях перемешивания чистого глицерина и воды в цилиндрическом сосуде (диаметр – 400 мм) с плоским дном. Скорость вращения для всех мешалок – 60 об/мин. В начальный момент времени нижняя половина сосуда была заполнена чистым глицерином, верхняя – водой.

В результате численных расчетов были получены данные об изменениях динамического давления водоглицериновой смеси на лопасти мешалок и максимальной разности плотностей  $\Delta\rho$  в объеме перемешивания (рис. 2). Путем несложных вычислений были получены данные об изменении моментов сопротивления вращению  $M_z$  (крутящих моментов) на ось мешалки (рис. 3).

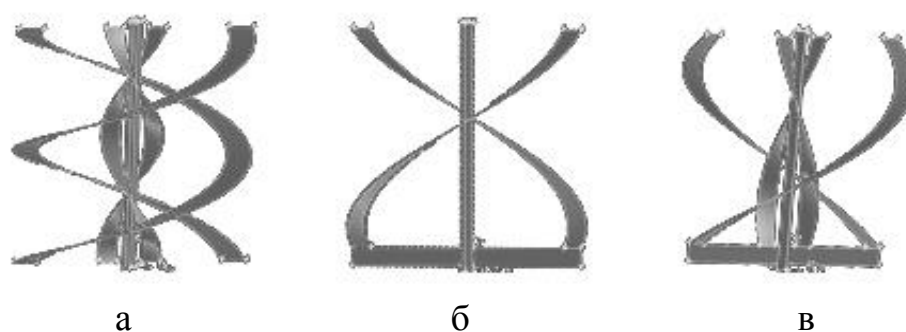


Рис. 1. Перемешивающие устройства  
а – ленточная мешалка, б – *Paravisc EKATO*, в – измененный *Paravisc*

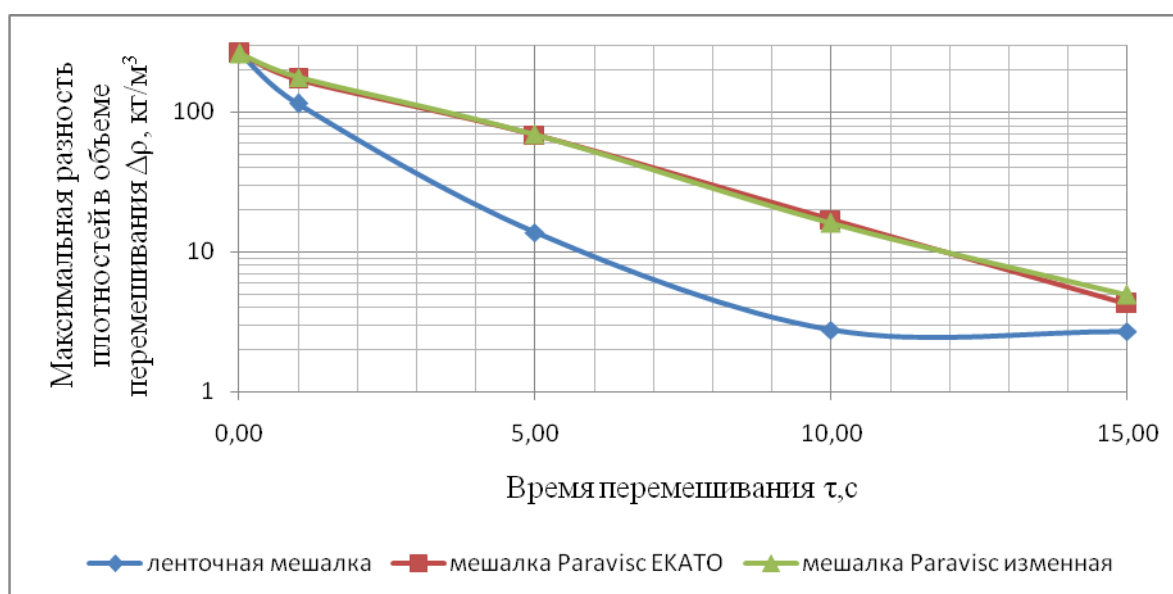


Рис. 2. Зависимость изменения разности плотностей  $\Delta\rho$  от времени перемешивания

Необходимая на перемешивание мощность в любой момент времени пропорциональна крутящему моменту на ось мешалки [1]. Анализируя совместно рис. 2 и 3, можно с достаточно высокой уверенностью сравнивать технологическую и энергетическую эффективности рассматриваемых перемешивающих устройств.

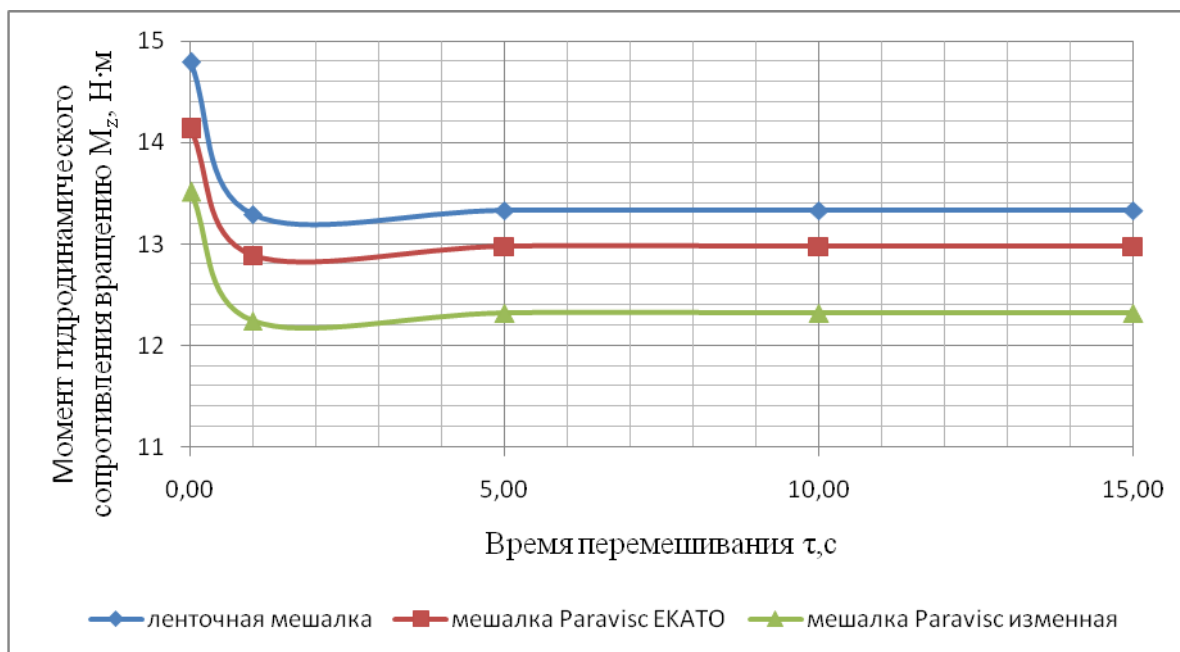


Рис. 3. Зависимость изменения крутящего момента  $M_z$  от времени перемешивания

Как видно из рис. 2 и 3, ленточная мешалка показывает наилучшую технологическую эффективность, но также потребляет при прочих равных условиях наибольшее количество энергии. Мешалка *Paravisc EKATO* и мешалка *Paravisc* измененной конструкции показывают примерно одинаковую технологическую эффективность, но сравнительно худшую, чем у ленточной мешалки. Однако и затраты энергии в установившемся режиме перемешивания для этих мешалок ниже (для *Paravisc EKATO* – на 3 %, для *Paravisc* измененной конструкции – на 7,5 %). Следовательно, для быстро протекающих технологических процессов, где лимитирующим фактором является перемешивание, рационально использовать ленточную мешалку. Для длительных же процессов – мешалку *Paravisc* измененной конструкции.

#### Библиографический список

1. Стренк, Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками / пер. с польск. И.А. Щупляка. Л.: Химия, 1975. 384 с.
2. Штербачек, З., Туаск, П. Перемешивание в химической промышленности / пер. с чешск. под ред. И.С. Павлушенко. Л.: ГХИ, 1963. 416 с.
3. Лашинский, А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / А.А. Лашинский, А.Р. Толщинский. Л.: Машиностроение, 1970. 752 с.
4. Akiti, O., Armenante, P. Experimentally-Validated Micromixing-Based CFD Model for Fed-Batch Stirred-Tank Reactors / O. Akiti, P. Armenante // *AIChE Journal*. 2004. Vol. 50. № 3. С. 566-577.
5. Хомяков, А.П. Применение RNG К-Е модели турбулентности к задачам перемешивания жидкостей в аппаратах с мешалками / А.П. Хомяков, С.Н. Сыромятников, С.С. Пецура, С.В. Морданов. // Тр. Свердловского науч.-исслед. ин-та хим. машиностроения. 2009. № 16 (80). С. 211-216.
6. Хомяков, А.П. Перемешивание высоковязких сред мешалками различных конструкций / А.П. Хомяков, С.Н. Сыромятников, С.С. Пецура, С.В. Морданов. // Тр. Свердловского науч.-исслед. ин-та хим. машиностроения. 2009. № 16 (80). С. 203-210.

# **О СТУПЕНЧАТОМ ВЫПАРИВАНИИ ЛЕГКОКИПАЩЕГО КОМПОНЕНТА В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ЗАТОПЛЕННОМ КОЖУХОТРУБНОМ КИПЯТИЛЬНИКЕ АБСОРБЦИОННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО АППАРАТА**

*Мотыгулин А.Е.*

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

*anmot@mail.ru*

Парогенератор абсорбционного холодильного аппарата состоит из ректификационной колонны и кипятильника. В ректификационную колонну из абсорбера подводится раствор повышенной концентрации, представляющий собой смесь рабочего агента и абсорбента. В результате тепломассообмена между раствором и противоточно движущимся паром концентрация легкокипящего компонента в паре повышается, а в жидком растворе - снижается. Затем раствор стекает в кипятильник, где производится выпаривание из него легкокипящего компонента путём подвода теплоты извне. Содержание рабочего агента в жидкой фазе раствора при этом сильно уменьшается, и раствор из крепкого превращается в слабый (по концентрации легкокипящего компонента). Подогрев крепкого раствора до состояния кипения происходит при постоянной концентрации. При дальнейшем подводе теплоты раствор кипит. При этом температура раствора возрастает, а концентрация его снижается.

В крупных абсорбционных холодильных установках применяют горизонтальные затопленные кипятильники, обогреваемые перегретой водой. Достоинствами затопленного аппарата являются малая чувствительность к загрязнению, лёгкая очистка и смена труб. В имеющихся конструкциях таких кипятильников кожухотрубный элемент орошается крепким раствором по всей длине теплоотдающих трубок, что приводит к необходимости поддерживать температуру греющей среды на выходе из кипятильника выше или равной максимальной температуре слабого раствора. Конструкция кипятильника с двумя соединёнными по вертикали кожухотрубными элементами для осуществления двухступенчатого испарения в силу той же причины также не позволяет полностью охладить греющую среду.

Наиболее полного использования теплоты греющей среды в кожухотрубном кипятильнике без значительного увеличения металлоёмкости аппарата можно добиться с помощью организации противоточного теплообмена между раствором и греющей средой. Для осуществления такого процесса можно предложить частичное разделение межтрубного пространства трубными досками, подобно тому, как разделены барабаны паровых котлов на чистый и солёный отсеки. Между средними решётками и нижней образующей корпуса кипятильника должны иметься зазоры для организации последовательного перетока раствора между отсеками. Крепкий раствор подаётся из ректификационной колонны в холодный отсек, где происходит нагрев раствора и начинается кипение при относительно низкой температуре. Температура греющей среды непрерывно уменьшается при движении от горячего отсека со слабым раствором к холодному отсеку с крепким раствором. Таким образом, температура греющей среды на выходе из кипятильника должна быть выше или равна температуре

крепкого раствора, т. е. ниже температуры слабого раствора приблизительно на 45 °С. Паровое пространство кипятильника не разделено и пар со всех отсеков отводится в ректификационную колонну.

#### *Библиографический список*

1. Соколов, Е.Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения: учеб. пособие для вузов / Е.Я. Соколов, В.М. Бродянский. М.: Энергоиздат, 1981. 320 с.
2. Бадылькес, И.С. Абсорбционные холодильные машины: учеб. пособие для вузов / И.С. Бадылькес, Р.Л. Данилов. М.: Пищевая промышленность, 1966. 356 с.

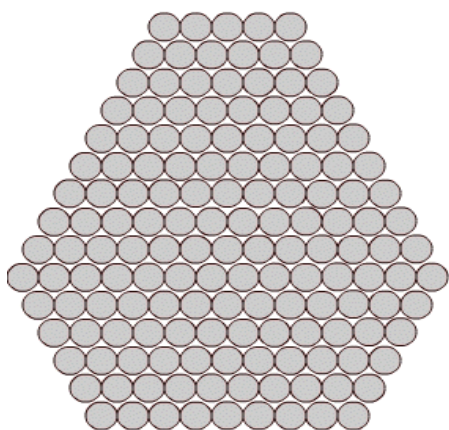
### **ПРИМЕНЕНИЕ АМОРФНЫХ МАГНИТНЫХ СПЛАВОВ – ПУТЬ К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ**

*Мухачев Д. Н., Орлов П. А., Саранкина Е., Лягаева Л., Пирумян Н. М.*

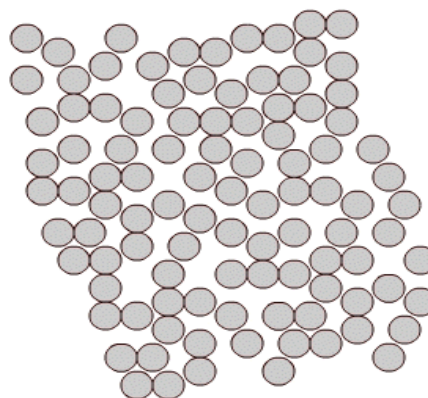
*УрФУ*

*sarapulovfn.yandex.ru*

В последние годы XX столетия внимание ученых привлечено к таким конденсированным средам, для которых характерно неупорядоченное расположение атомов в пространстве. Всеобщий интерес к этому состоянию английский физик Дж. Займан выразил следующим образом [1]: «Неупорядоченные фазы конденсированных сред - сталь и стекло, земля и вода, пусть и без остальных стихий, огня и воздуха, - встречаются несравненно чаще и в практическом отношении никак не менее важны, чем идеализированные монокристаллы, которыми не столь давно только и занималась физика твердого тела». До недавнего времени понятие «металл» связывалось с понятием «кристалл», атомы которого расположены в пространстве строго упорядочено (рисунок (а)). Однако в начале прошлого века в научном мире распространилось сообщение о том, что получены металлические сплавы, не имеющие кристаллической структуры. Металлы и сплавы с беспорядочным расположением атомов (рисунок (б)) стали называть аморфными металлическими стеклами.



(а)



(б)

Расположение атомов в кристаллическом (а) и аморфном (б) веществе



Открытие аморфных металлов внесло большой вклад в науку о металлах, существенно изменив наши представления о них. Оказалось, что аморфные металлы разительно отличаются по своим свойствам от металлических кристаллов. Формирование аморфной структуры металлов и сплавов приводит к фундаментальным изменениям магнитных, электрических, механических, сверхпроводящих и других свойств. Некоторые из них оказались очень интересными как для науки, так и для практики. Хорошо известно, что атомы расплавленного металла не имеют фиксированного положения в пространстве. Поэтому давно возникла идея «заморозить» (путем очень быстрого охлаждения) беспорядочное расположение атомов, характерное для жидкости. Долгое время структуру жидкого металла не удавалось воспроизвести в твердом состоянии, ибо при охлаждении металлического расплава процесс кристаллизации можно предотвратить, если охлаждать его со скоростью 106...108 К/с.

Особенности структуры аморфных металлических сплавов (АМС) сказались и на многих физических свойствах. Так, несмотря на то, что плотность аморфных сплавов на 1...2 % ниже плотности кристаллических аналогов, прочность их выше в 5...10 раз. Более высокая прочность связана с тем, что в АМС отсутствуют такие дефекты, как дислокации и границы зерен, свойственные кристаллическому состоянию. Беспорядок расположения атомов в виде ближнего порядка оказывает сильное влияние на электропроводность металлических стекол. Их удельное электрическое сопротивление в 3...5 раз выше, чем у кристаллических аналогов.

В настоящее время уже налажен промышленный выпуск десятков сплавов в аморфном состоянии. Оказалось, что легче всего аморфизуются сплавы переходных и благородных металлов с металлоидами (неметаллами, углеродом, бором, фосфором и др.), причем есть сплавы, в которых удастся подавить кристаллизацию при скорости охлаждения порядка тысяч и даже сотен тысяч градусов в секунду. Аморфные металлы во многих отношениях отличаются от своих кристаллических собратьев. Хотя модули упругости при аморфизации снижаются в среднем на 30 (силы межатомной связи уменьшаются), но прочность и твердость резко возрастают, так металлические стекла по прочности превосходят самые лучшие легированные стали. Высокая твердость определяет их великолепную износостойкость, к тому же металлические стекла не так хрупки - как обычное стекло. Их можно, например, прокатывать при комнатной температуре.

Другое важнейшее преимущество аморфных металлических сплавов - их исключительно высокая коррозионная стойкость. Во многих весьма агрессивных средах (морской воде, кислотах) металлические стекла вообще не корродируют. Например, скорость коррозии аморфного сплава, содержащего железо, никель и хром, в растворе соляной кислоты практически равны нулю. Для сравнения можно сказать, что скорость коррозии «классического» коррозионно-стойкого сплава железа с никелем и хромом (знаменитая нержавеющая сталь, которую так и называют – «нержавейка») в той же среде превышает 10 мм/год. Основная причина такой высокой коррозионной стойкости аморфных сплавов, по-видимому, состоит в том, что, не имея кристаллической решетки, они лише-



ны и характерных «дефектов» кристаллов - дислокации и, главное, границ между зёрнами.

Весьма интересным является сочетание некоторых физических свойств аморфных сплавов, в частности, магнитных и электрических. Выяснилось, что сплавы на основе ферромагнитных металлов (железа, никеля) в аморфном состоянии так же ферромагнитны. А.И. Губанов в 1960 году первым предсказал существование ферромагнетизма в аморфных металлических сплавах. Следует подчеркнуть, что ферромагнетизм аморфных сплавов обусловлен наличием в них одного, двух или всех трех ферромагнитных элементов: железа, никеля и кобальта.

Какие полезные магнитные свойства улучшаются в результате образования аморфной структуры? Известно, что в обычных ферромагнетиках всегда имеется магнитная анизотропия, обусловленная кристаллическим порядком расположения магнитных моментов атомов. Магнитная анизотропия существенно уменьшает подвижность доменных стенок и увеличивает коэрцитивное поле. В принципе в аморфных ферромагнетиках магнитная анизотропия должна быть равна нулю, поскольку отсутствует кристаллический дальний порядок. Практически реальные аморфные ферромагнетики все же обладают магнитной анизотропией, которая, однако, на два порядка меньше, чем в кристаллических. Таким образом, аморфные металлические сплавы почти всегда являются магнитомягкими ферромагнетиками. Благодаря этим уникальным свойствам, аморфные сплавы получили широкое распространение в современной радиоэлектронной аппаратуре, прежде всего в сердечниках трансформаторов.

Магнитные свойства новых нанокристаллических сплавов обладают:

- высокой термической стабильностью (температура Кюри – 600 °С, кристаллизации – 500 °С);
- высокой термической стабильностью значения потерь в сердечнике на перемагничивание РС. В широком температурном диапазоне РС имеет слабый отрицательный температурный коэффициент;
- высокой индукцией насыщения, равной  $1,25 \text{ Т} \pm 15 \%$  в диапазоне температур –60... +130 °С.

Другим полезным свойством аморфных ферромагнетиков является более высокое значение начальной магнитной проницаемости как на низких (0,1...1 МГц), так и на высоких (5...15 МГц) частотах. Это свойство определяется высоким удельным электрическим сопротивлением аморфных ферромагнетиков, значительно снижающим потери на токи Фуко.

Магнитные аморфные сплавы имеют целый ряд преимуществ:

- низкие удельные потери;
- высокое электрическое сопротивление;
- отличные электромагнитные характеристики в широком диапазоне частот (до 1 МГц) ;
- возможность дальнейшей миниатюризации и повышения эффективности электронных устройств;
- снижение искрового тока и подавление шумов;
- экономия электроэнергии;

- более короткий (на 25 %) цикл производства изделий из аморфных лент по сравнению с пермаллоями, что снижает энергетические затраты заводов – изготовителей;
- экологически достаточно чистое производство изделий из аморфных материалов по сравнению, например, с ферритами.

Не последнее значение в росте производства аморфных сплавов занимает то обстоятельство, что фактически создана новая технология металлургического производства, обеспечивающая получение конечного продукта непосредственно из расплава, минуя многоступенчатые и энергоемкие технологические циклы такие, как ковка, прокатка, промежуточные отжиги и т.д.

#### *Библиографический список*

1. Золотухин И.В., Бармин Ю.В. Стабильность и процессы релаксации в металлических стеклах. М.: Металлургия, 1991. 158 с.
2. Золотухин И.В. Физические свойства аморфных металлических материалов. М.: Металлургия, 1986. 176 с.
3. Золотухин И.В., Калинин Ю.Е. Успехи физ. наук. М.: Высш. шк., 1990. 75 с.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ КРЫШНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОТЫ ВЫТЯЖНОГО ВОЗДУХА СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛОГО ДОМА**

*Наумова С. В., Варфоломеева О.И.*

*Ижевский государственный технический университет  
[tguug@istu.ru](mailto:tguug@istu.ru)*

Решение вопроса отопления и вентиляции котельной требуется на стадии проектирования тепломеханической части, т.к. эти затраты на собственные нужды могут повлиять на выбор мощности котельных агрегатов. В то же время, снижение затрат тепла на отопление и вентиляцию котельной, позволяет повысить коэффициент полезного действия брутто. Обогрев котельной рекомендуется [1] осуществлять с помощью воздушного отопления, а систему вентиляции предусматривать с естественным побуждением. При необходимости, допустима установка отопительных приборов в помещении котельной и системы вентиляции с механическим побуждением [1]. Особенностью расчета отопления и вентиляции котельных является то, что кроме трехкратного воздухообмена помещения необходимо учитывать расход приточного воздуха на горение для котельных агрегатов, который, для поддержания требуемой температуры в помещении котельной, необходимо подогревать.

Крышные котельные являются одним из решений вопроса теплоснабжения коммунальных объектов в условиях стесненной застройки при невозможности подключения к существующей системе теплоснабжения, а так же когда в районе застройки тепловые сети отсутствуют. Снижение суммарных затрат на теплообеспечение жилого дома с крышной котельной возможно достичь путем использования вытяжного воздуха системы вентиляции дома на горение и для отопления крышной котельной. Оценим целесообразность и техническую воз-

возможность подачи вытяжного воздуха системы вентиляции жилого дома в помещение крышной котельной мощностью 0,8 МВт на горение и воздушное отопление на примере семиэтажного жилого дома по ул. Коммунаров в г. Ижевске.

Расчет потребности тепла на отопление такой крышной котельной выполнено в [2], суммарная и составляет  $Q_{огр}=4075,8$  Вт.

Теплопоступления в помещение котельной с вытяжным воздухом  $Q_{вент}^{выт}$ , Вт определяются по формуле:

$$Q_{вент}^{выт} = \frac{G_{вент} \cdot c_v \cdot (t_{выт} - t_k)}{3600} = \frac{L_{вент} \cdot \rho_{вент} \cdot c_v \cdot (t_{выт} - t_k)}{3600} \text{ Вт},$$

где  $G_{вент}$  – массовый расход приточного воздуха, подаваемого на вентиляцию в помещение котельной с учетом расхода воздуха на горение, кг/ч, [3],  $L_{вент}=1619,5$  м<sup>3</sup>/ч – объемный расход приточного воздуха, подаваемого в помещение котельной при плотности вытяжного воздуха  $\rho_{выт}$ , кг/м<sup>3</sup>;  $c_v=1005$  Дж/кг·°C – удельная массовая теплоемкость воздуха;  $t_{выт}$  и  $t_k$  – температуры вытяжного воздуха и нормируемого воздуха в помещении котельной соответственно, °C.

Тепловыделения от оборудования в помещение котельной  $Q_{выд}$ , в которой установлено 2 котла КВ-Г-0,8-95, мощностью 0,8 МВт определяются:

$$Q_{выд} = Q_5 = 2 \cdot \frac{q_5 \cdot Q_H^p \cdot B}{100 \cdot 3600} = 8516 \text{ Вт},$$

где  $q_5=0,5$  % – потери тепла от наружного охлаждения;  $B=91,46$  м<sup>3</sup>/ч – расход газа;  $Q_H^p = 33,52$  МДж/м<sup>3</sup> – низшая теплота сгорания газа по рабочему составу.

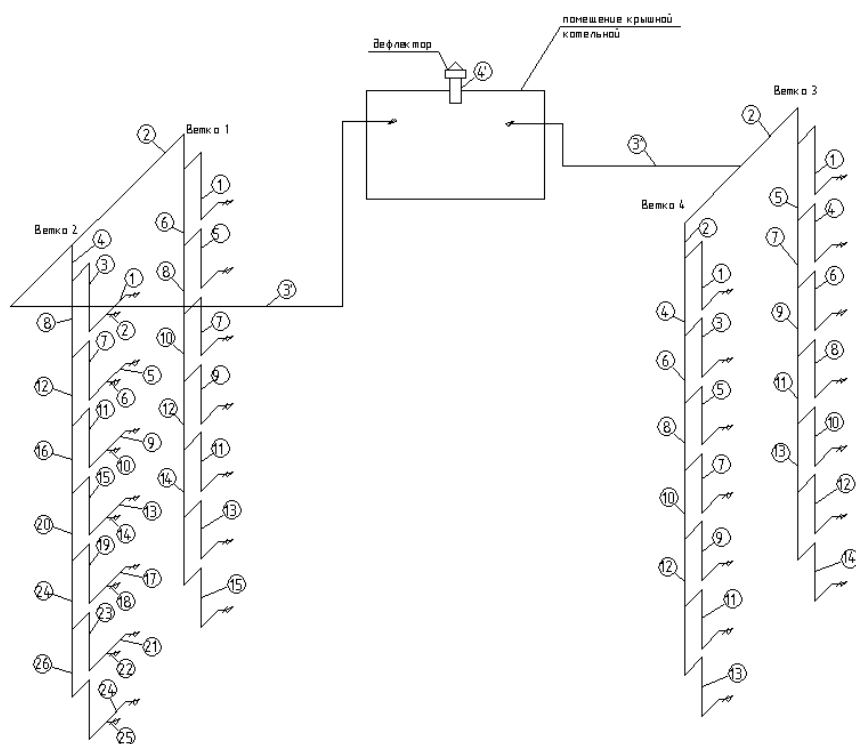
Мощность отопительной установки равна:  $Q_{от} = -12592$  Вт, причем тепловыделения в котельной превышают теплотери. Это означает, что с применением вытяжного воздуха системы вентиляции жилого дома, в помещении котельной никаких дополнительных мероприятий по отоплению котельной не требуется. Таким образом, данные расчеты еще раз подтверждают эффективность использования вытяжного воздуха системы вентиляции жилого дома вместо наружного воздуха.

Для подачи вытяжного воздуха в помещение крышной котельной, необходимо разработать такую установку, схему подачи, которая не будет нарушать работу всей системы вентиляции жилого дома, и которую в дальнейшем можно будет успешно применять для других уже существующих и вновь строящихся крышных котельных.

Расход удаляемого воздуха из квартир жилого дома  $L_{вент}^{ж.д.} = 5600$  м<sup>3</sup>/ч превышает расход приточного воздуха, подаваемого в помещение котельной  $L_{кот} = 1619$  м<sup>3</sup>/ч, поэтому нецелесообразно подавать в котельную весь воздух вытяжной системы вентиляции. Количество удаляемого воздуха из одной квартиры равно 140 м<sup>3</sup>/ч. Для подачи воздуха в котельную объединим вытяжные каналы 4 веток из кухонь и санузлов 14 квартир. В таком случае расход подаваемого в котельную воздуха равен:  $L_{кот}^{под} = 140 \cdot 14 = 1960$  м<sup>3</sup>/ч.

Краткое описание системы: воздух из санузлов и кухонь через вытяжные регулируемые решетки поступает в вытяжные каналы, затем этот вытяжной воздух поступает в крышную котельную, откуда он удаляется через дефлектор.

Предлагаемая схема организации подачи вытяжного воздуха в помещение крышной котельной приведена на рисунке. Аэродинамический расчет реконструированной системы вентиляции выполняется по известным соотношениям и предусматривает увязку потерь давления с располагаемым давлением с учетом разрежения, создаваемого дефлектором. Часть воздуха, поступающего в помещение котельной, идет на сжигание котлами топлива, а именно  $1035 \text{ м}^3/\text{ч}$ , через дефлектор удаляется весь оставшийся воздух  $925 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Дефлектором создается дополнительное разрежение, определяемое по методике [3] и равное  $2,84 \text{ Па}$ .



Расчетная схема реконструированной системы вентиляции

Результаты аэродинамического расчета показывают, что утилизация теплоты вытяжного воздуха системы вентиляции жилого дома целесообразна и технически возможна.

#### *Библиографический список*

1. СНиП II-35-76\* Котельные установки, с изм. 1.
2. Наумова С. В., Варфоломеева О. И. Крышная котельная с утилизацией теплоты вытяжного воздуха системы вентиляции жилого дома // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009 г., научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых 14-18 декабря 2009 г. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 203-205.
3. Трёмбовля В.И., Фингер Е. Д., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок. М.: Энергия, 1977. 296 с.

# ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

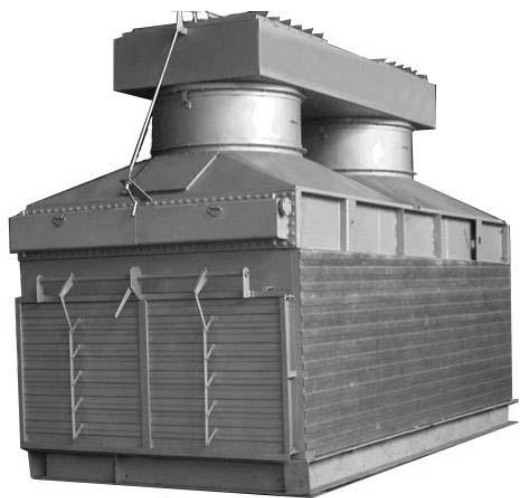
Неволин А.М., Плотников П.Н.  
УрФУ  
e-mail: alexandr\_nevolin@mail.ru

Отсутствие затрат на водоподготовку и возможность размещать производства независимо от источников водоснабжения дают аппаратам воздушного охлаждения, по сравнению с жидкостными теплообменниками, неоспоримые преимущества. Недостатком их является низкий коэффициент теплоотдачи со стороны хладагента – воздуха, что обуславливает узкий диапазон изменения параметров оребрения и разбивки труб в решетках пучка и ведет к увеличению площади поверхности теплообмена и металлоемкости теплообменного аппарата (ТА). Поэтому интенсификация теплообмена для аппарата воздушного охлаждения масла (АВОм) имеет особое значение.

Создание нового аппарата или оптимизация существующей конструкции заканчивается проведением испытаний работы последних. В некоторых случаях опытная апробация требуется и на промежуточных стадиях проектирования. Существенно снизить затраты на испытания позволяет создание виртуальной модели ТА с последующим моделированием его технологического процесса. Модель, верифицированная сопоставлением с опытными данными, позволяет в дальнейшем вносить в нее изменения и получать достоверные результаты при значительной экономии времени и средств.

Данная работа представляет собой первую часть оптимизации конструкции АВОм с типом теплообменной секции 06-10, эксплуатируемого на газокompрессорных станциях магистральных газопроводов. Работа состоит в разработке модели теплообменника и анализе его рабочего процесса.

*Описание конструкции.* АВОм (рис. 1) служит для охлаждения масла низкого давления, которое проходит внутри трубок теплообменника, а снаружи через



оребрённые наружные поверхности рядов трубок теплообменника вентиляторами просасывается охлаждающий воздух. Теплообменная секция (ТОС) расположена горизонтально, представляет собой шестирядный шахматный оребренный пучок, количество труб – 240, имеет 1 или 2 хода по маслу. Над ТОС установлены горизонтально два вентилятора работающие «на просос», воздух поступает с боков ТА через систему жалюзи.

Рис. 1. АВОм

*Создание модели.* Для моделирования была выполнена полноразмерная твердотельная модель одной секции АВОм (рис. 2). Для экономии вычислительных ресурсов в модель были введены следующие упрощения:

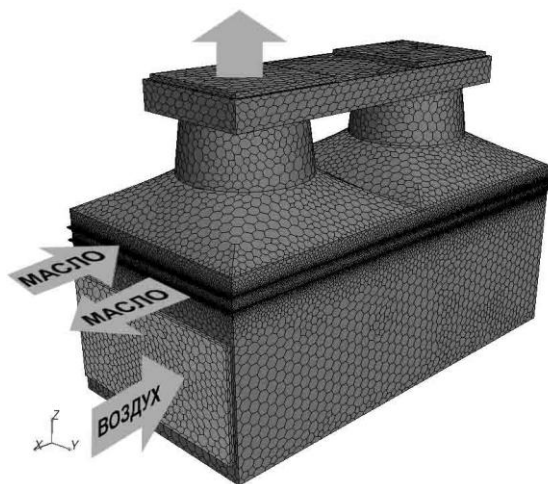


Рис. 2. 3D модель секции АВОм с расчетной сеткой

- исключались входные и выходные жалюзи, а также лопасти вентиляторов;
- трубный пучок представлялся пористым телом с эквивалентными теплогидравлическими характеристиками;
- были упрощены входной и выходной коллекторы масла, поворотная камера.

Для дискретизации модели и численного решения задачи применялся программный комплекс STAR-CCM+.

Для верификации полученных результатов на первом этапе использовались данные тех. паспорта АВОм, по которому задавались начальные параметры сред (температуры и расходы). Вход воздуха был задан по нормали к поверхности, как если бы входные жалюзи были полностью открыты. Выход воздуха был задан в виде свободного истечения в атмосферу.

Теплообменная секция аппарата задавалась как пористое тело. В этом случае, для течений в канале градиент давления пропорционален скорости потока:  $\frac{dp}{dx} = -K \cdot V$ , где  $K$  – сопротивление,  $V$  – скорость в соответствующем направлении. Причем, сопротивление  $K$  связывается со скоростью потока в форме линейной комбинации параметров  $K = a|V| + b$ .

Определения коэффициентов сопротивления  $a$  и  $b$  проводилось через аппроксимацию зависимости перепада давления на трубный пучок от скорости воздуха (масла) внутри пучка  $\Delta p = f(V)$  [2]. Найденные из этих расчетов коэффициенты сопротивления и являются параметрами пористых сред, представляющих теплообменник. Теплосъем трубного пучка, замененного пористым телом, был задан по паспорту.

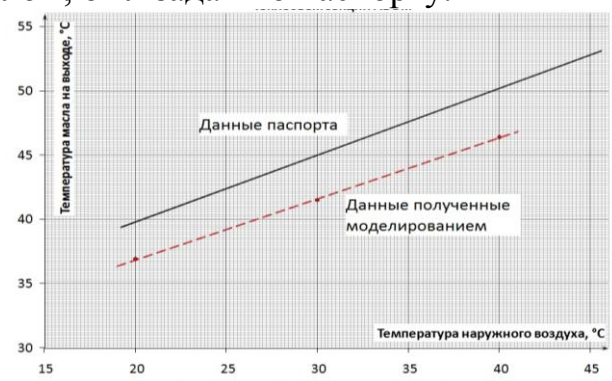


Рис. 3. Сопоставление расчетных значений с паспортными данными

*Результаты.* Проверка полученных результатов велась по температуре масла на выходе из ТА. На трех режимах работы разница рассчитанных и паспортных значений составила 7,3...7,8 % (рис. 3). В результате численного моделирования был получен большой спектр различных аэродинамических и теплогидравлических характеристик работы АВОм, включая поля скоростей потока воздуха и поля температуры воздуха и масла.

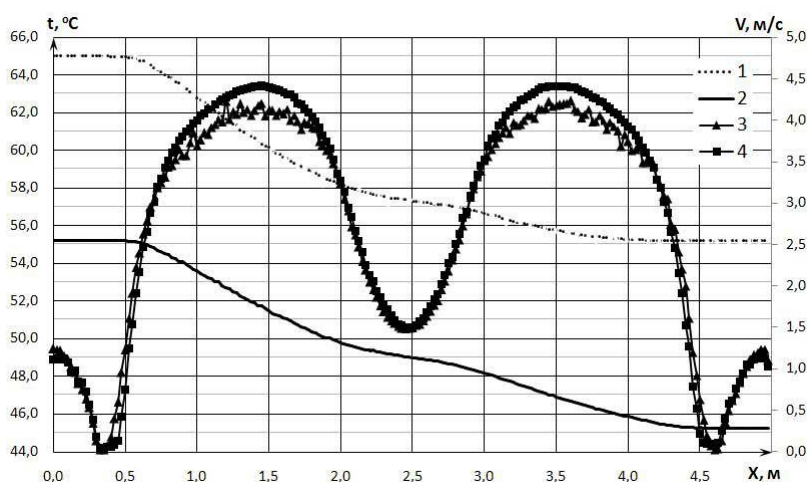


Рис. 4. Распределение температуры масла и скорости воздуха в ТООС: 1 – температура масла первого хода, 2 – температура масла второго хода, 3 – скорость воздуха во втором ходу, 4 – скорость воздуха в первом ходу

идет более интенсивно, и кривые температуры становятся более крутыми (рис. 4). На начальном и конечном участке ТООС, где имеют место застойные зоны, а также участке между вентиляторами масло практически не охлаждается. Из процесса активного теплообмена исключается до 25 % трубной поверхности. Это значительно снижает эффективность работы АВОМ, а при повышенных температурах охлаждающего воздуха в летний период эксплуатации может стать причиной недостаточного охлаждения масла.

Результаты моделирования показали, что существует необходимость дополнительной аэродинамической отработки конструкции АВОМ. Одним из возможных ее направлений является включение в конструкцию ТА специального направляющего аппарата, позволяющего выровнять поток воздуха перед трубным пучком. Отработка формы и расположения такого направляющего аппарата может быть достаточно корректно проведена на полученной модели.

#### *Библиографический список*

1. Крюков Н.П. Аппараты воздушного охлаждения. М.: Химия, 1983.
2. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: Справочник / А.Н. Бессонный, Г. А. Дрейцер, В. Б. Кунтыш и др.; под общ. ред. В.Б. Кунтыша, А.Н. Бессонного. СПб.: Недра, 1996. С. 479.

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА АЛЮМИНИЯ**

*Николаев А.Ю., Письмак В.Н., Лебедев В.А.  
УрФУ, E-mail: mlm@mail.ustu.ru*

Использование натриевых и калиевых электролитов с криолитовым отношением около единицы позволяют снизить температуру электролиза алюминия с 950 °С до 750 °С. Это позволяет повысить выход по энергии с 25 % до 50 % за счет снижения затрат электроэнергии на поддержание электролита в расплавленном состоянии. Однако применение таких электролитов имеет и недостатки, основными из которых являются снижение электропроводности электролита, растворимости и скорости растворения глинозема.



Первый недостаток может быть решен введением в электролит алюминиевых электролизеров добавок соединений лития ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{LiF}$ ), улучшающих электропроводность электролита. Так, добавка 1,5 % карбоната лития в электролит приводит увеличению электропроводности электролита на 3 %. В качестве добавки к электролиту в промышленности используется, в основном, карбонат лития. Существенными недостатками введения в электролит чистых соединений лития являются повышенная нестабильность содержания  $\text{LiF}$  в электролите, большая вероятность местных пересыщений, приводящая к выделению глинозёма из электролита в осадок, особенно при его ограниченной растворимости. Кроме того, установлено, что при питании ванн литийсодержащим глинозёмом либо засыпкой карбоната лития на корку электролита потери лития за счёт пылеуноса составляют от 10...15 % до 30...35 % соответственно. Более рациональны способы ввода добавок в смеси с непрерывно расходуемыми при электролизе материалами.

В Китае, начиная с 1987 г., были проведены промышленные испытания углеродистых анодов, содержащих  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  [1]. Было установлено, что среднее напряжение электролизера серии было уменьшено на 50...63 мВ, выход по току был увеличен на 0,54 %. К концу 1991 г. работало приблизительно 2000 электролизеров на 16 алюминиевых заводах Китая, использующих анодную массу, содержащую литиевые соли. В результате было сэкономлено 50 млн. кВт·ч электрической энергии в год.

Для проверки этих данных было проведено настоящее исследование. Аноды, используемые при эксперименте, были приготовлены из анодной массы ОАО «БАЗ-СУАЛ», содержащей 75 % кокса и 25 % пека. В анодную массу добавляли 0,5 либо 1 % масс. карбоната лития и тщательно перемешивали. Также для сравнения был изготовлен нелегированный анод.

Целью эксперимента было изучение поведения анодов легированных карбонатом лития в процессе электролиза, измерение анодной поляризации и сравнение полученных данных для анодов легированных разным количеством карбоната лития. Электролиз проводился в криолит-глиноземном расплаве с  $\text{K.O.} = 2,6$ , содержащим 4,5 %  $\text{CaF}_2$ ; 4 %  $\text{MgF}_2$ ; 8 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 2 %  $\text{LiF}$  при температуре 950 °С. На основе полученных данных построена зависимость  $\eta_a$  от  $\lg i$ , отображающая поляризацию угольного анода, рис. 1.

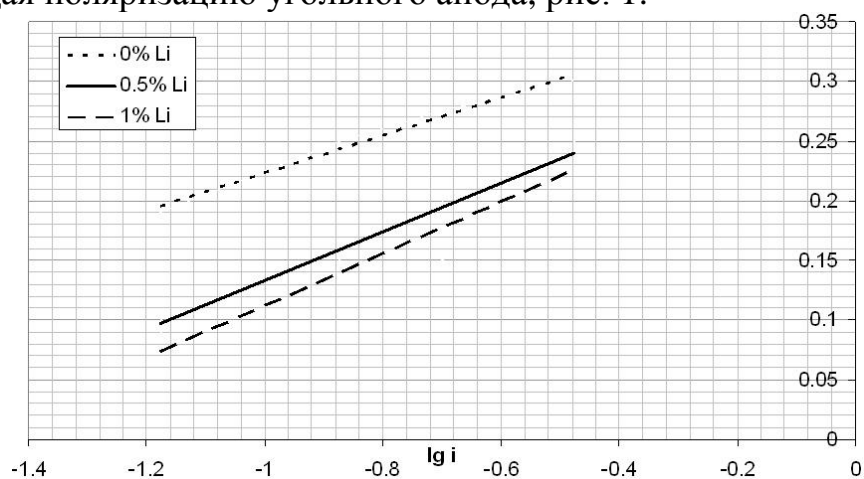


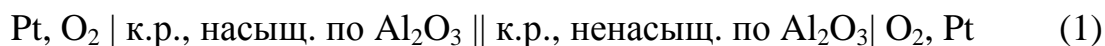
Рис. 1. График зависимости  $\eta_a$  от  $\lg i$  по данным первого опыта



Из рис. 1 видно, что при промышленной плотности тока  $0,75 \dots 0,85 \text{ А/см}^2$  поляризация угольного анода, легированного  $0,5 \text{ \% Li}_2\text{CO}_3$ , и  $1\% \text{ Li}_2\text{CO}_3$ , ниже чем у нелегированного анода, соответственно на 20 и 40 мВ. Все аноды в процессе электролиза работали без каких либо технологических нарушений. Полученные результаты подтверждают целесообразность введения карбоната лития в электролит через анодную массу. Для поддержания концентрации  $\text{LiF}$  в электролите на уровне  $2 \dots 3 \text{ \%}$  концентрация карбоната лития в анодной массе должна быть  $0,40 \dots 0,77 \text{ \%}$ .

Второй недостаток может быть решен использованием активного оксида алюминия (АОА), полученного на кафедре МЛМ, который содержит  $80 \dots 90 \text{ \% } \gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , является более пористым материалом с объемом пор  $50 \dots 70 \text{ \%}$ , удельной поверхностью  $150 \dots 250 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Скорость растворения глинозема в исследуемом электролите определяли электрохимическим методом, измеряя после загрузки порции глинозема, изменение во времени ЭДС следующего концентрационного гальванического элемента:



Разность установившейся ЭДС до и после введения добавки глинозема ( $\Delta E$ ) по уравнению (2), говорит об отношении ионов кислорода в конечном и исходном расплавах, а скорость изменения ЭДС говорит о скорости растворения глинозема в электролите.

$$\Delta E = RT \ln (O_{\text{нас}}^- / O_{\text{не нас}}^-) / 2F \quad (2)$$

В шахтную печь устанавливали корундовый тигель, в который помещали графитовый стакан с асбестовой диафрагмой. В качестве электролита был взят расплав системы  $\text{NaF-AlF}_3$  с криолиновым отношением 1,2. Температура процесса составила  $780^\circ\text{C}$ . Во внутренний тигель помещали 30 г электролита без глинозема. В корундовый тигель помещали 70 г насыщенного по глинозему электролита. Для измерения ЭДС в расплав опускали платиновые электроды. ЭДС гальванического элемента регистрировали с помощью двухкоординатного самописца. После загрузки во внутренний тигель порции глинозема проводили измерение ЭДС элемента (1). Эксперимент проводили до насыщения электролита глиноземом, когда ЭДС элемента (1) становилась равной нулю. Для определения скорости растворения глинозема строилась зависимость изменения ЭДС во времени (рис. 2).

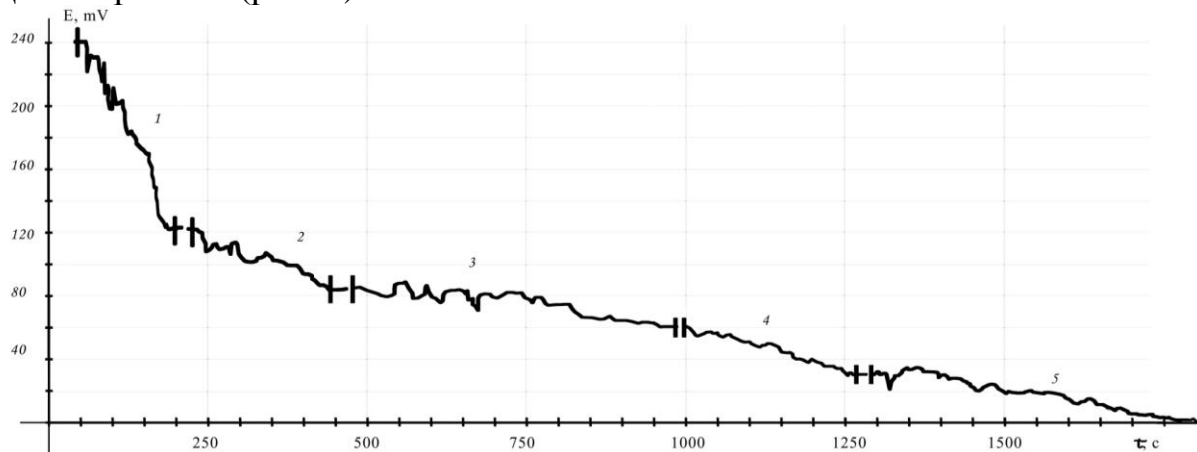


Рис. 2 Зависимость ЭДС от времени при периодических загрузках глинозема:  
1 – загрузка 0,1 г АОА; 2 – загрузка 0,1 г АОА; 3 – загрузка 0,4 г промышленного глинозема;  
4 – загрузка 0,2 г АОА; 5 – загрузка 0,2 г промышленного глинозема.

После обработки результатов эксперимента было установлено, что растворимость глинозема в расплаве при температуре 780 °С составляет 3,3 % вместо 15 % в промышленном электролите при 950 °С. В таблице приведены скорости растворения активного оксида алюминия, полученного на кафедре МЛМ, и скорости растворения промышленного глинозема.

№	Вид глинозема	$\Delta \tau$ , мин	$m_n$ , г	Скорость, г/(см <sup>3</sup> ·мин)
1	АОА	2,47	0,087	$2,35 \cdot 10^{-3}$
2	АОА	3,5	0,115	$2,19 \cdot 10^{-3}$
3	Промышленный глинозем	8,75	0,140	$1,45 \cdot 10^{-3}$
4	АОА	4,57	0,11	$1,63 \cdot 10^{-3}$
5	Промышленный глинозем	8,72	0,2	$1,05 \cdot 10^{-3}$

Как видно из таблицы, активный оксид алюминия имеет примерно в 1,5 раза большую скорость растворения, чем промышленный глинозем. Скорость растворения глинозема в электролите закономерно снижается по мере насыщения расплава глиноземом. Использование АОА и систем непрерывной подачи глинозема позволит проводить низкотемпературный электролиз алюминия в электролите с растворимостью глинозема на уровне 3 %.

#### *Библиографический список*

1. Liu Yexiang, Lai Yanqing, Yang Jianhong and J.Thonstad. On The Electrocatalysis of The Carbon Anode in Aluminum Electrolysis // Proceedings of 6th International Symposium on Molten Salt Chemistry and Technology. Shanghai. China. Oct. 2001. P. 16-27.

## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ КАБИНЫ ЛИФТА**

*Носкова М.И., Денисенко В.И.*

*УрФУ*

*e-mail: kem\_em@mail.ustu.ru; shechko@mail.ru*

Надежность и простота конструкции, широкий диапазон плавного и экономичного регулирования частоты вращения и высокие энергетические показатели определили целесообразность разработки двигателя кабины лифта на базе вентильной машины.

В НПО «Автоматики» разработан вентильный двигатель кабины лифта обращенной конструкции, главной особенностью которого является ротор (рис. 1), охватывающий снаружи статор. В такой конструкции отсутствуют проблемы, связанные с креплением постоянных магнитов на роторе. Якорная обмотка размещена в пазах на поверхности статора (рис. 2). Напряжение питания обмоток двигателя формируется в зависимости от положения ротора. Если в двигателях постоянного тока для этой цели использовался коллектор, то в вентильном двигателе его функцию выполняет полупроводниковый коммутатор с датчиком положения ротора (ДПР).

На роторе применены постоянные магниты на основе сплавов неодим-железо-бор. Ротор имеет шестнадцать пар полюсов. Магниты создают основной магнитный поток, при этом из устройства двигателя исключается обмотка возбуждения, источник питания постоянным током и щеточно-контактная пара. Это упрощает конструкцию, одновременно повышаются энергетические показатели машины и надежность узла.

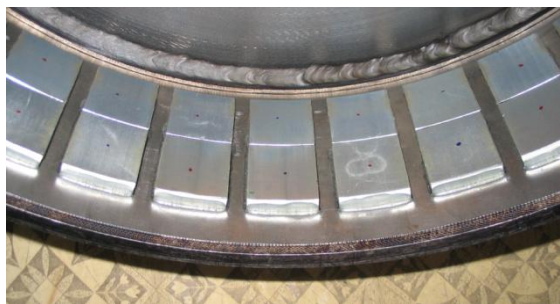


Рис. 1. Ротор двигателя кабины лифта



Рис. 2. Обмотанный статор двигателя кабины лифта

Статор имеет конструкцию, подобную конструкции якоря машины постоянного тока. Он состоит из корпуса, сердечника из электротехнической стали и трехфазной обмотки, уложенной в пазы по внешнему периметру сердечника.

Для снижения удельных потерь, уровня механических шумов, уменьшение реактивных моментов трехфазная обмотка статора распределяется в пространстве таким образом, чтобы обеспечить форму магнитного поля, близкую к синусоидальной. Это достигается за счет определенного соотношения числа зубцов статора  $Z$  и полюсов ротора  $2p$  в соответствии с патентом [1]. В результате улучшаются рабочие характеристики вентильного двигателя. На трехфазную обмотку статора подается напряжение, сформированное электронным преобразователем, управляемым датчиком положения ротора.

Датчик положения ротора представляет собой обращенную электрическую машину с явнополюсным ротором, имеющей количество пар полюсов, равное числу пар полюсов вентильного двигателя. Трехфазная обмотка датчика положения ротора укладывается в те же пазы и является индикаторной. По величине и форме ЭДС, которая наводится в ней, определяется угол положения ротора и выдается сигнал электронному преобразователю.

Разработанная обращенная конструкция вентильного двигателя кабины лифта имеет существенный недостаток, связанный с требованием обеспечения допустимого уровня нагрева обмотки. Ротор охватывает статор, в результате теплопередача в окружающую среду от статора, который является главным источником тепловых потерь, осуществляется через внутренний воздух машины и ротор, что способствует перегреву изоляции обмотки. В связи с этим потребовалась разработка методики теплового расчета данной конструкции вентильно-



В основу теплового расчета лифтового двигателя положена полная тепловая схема, так как условия охлаждения у заднего и переднего подшипниковых щитов различны.

При составлении эквивалентной тепловой схемы было выделено 19 (m) тел, часть которых является источником тепла: пазовая (П) и лобовые (левая (Л1) и правая (Л2)) части обмотки статора, зубцы (Z) и спинка (J) сердечника статора, подшипники (ПШ). Шкив лифта (ШК), задний (Щ1) и передний (Щ2) подшипниковые щиты, ступица (С) и корпус (К) статора, воздух в области лобовых частей (ВВ1 и ВВ2) обмотки статора и ротор (Р) не являются источниками потерь в двигателе. При составлении ЭТС были учтены следующие пути передачи тепла в окружающую среду: передача тепла от ротора, от подшипниковых щитов, торцевой части корпуса и ступицы статора, а также от шкива лифта.

Расчет термических сопротивлений тепловой схемы выполнен на основе рекомендаций, приведенных в технической литературе [2, 3]. В схеме приведены результирующие тепловые сопротивления, встречающиеся на пути выделенных тепловых потоков. Например, термическое сопротивление между ротором и статором включает в себя: сопротивление зубцов статора, воздушного зазора, магнита и клея. При этом тепловое сопротивление обода ротора в радиальном направлении не учитывалось. Общее сопротивление рассчитывается как сумма всех составляющих:

$$R_{\Sigma} = R_Z + R_{\text{МГ}} + R_{\delta} + R_{\text{КЛ}}.$$

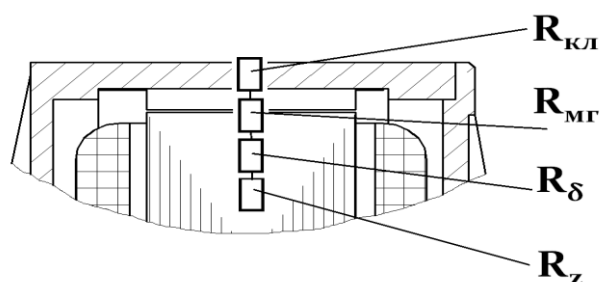


Рис. 2. К расчету термического сопротивления между статором и ротором

При разработке эквивалентной тепловой схемы двигателя был сделан ряд допущений: пренебрегаем поперечным движением теплового потока в сердечнике статора, пренебрегаем путем отвода тепла через вал и ступицу во внутреннюю полость (так как количество теплоты, передаваемое через эти элементы незначительно).

Упрощена также тепловая схема в области подшипниковых узлов (так как из-за маленькой скорости вращения потери в подшипниках незначительны).

Расчет температур узлов проводится на основе законов Ома и Кирхгофа для тепловой цепи. После определения термических сопротивлений участков и мощностей источников тепловыделения формируются матрицы собственных и взаимных проводимостей узлов и вектор приведенных источников теплоты.

Метод эквивалентных тепловых схем реализован в среде Mathcad. Система уравнений тепловой схемы была решена в матричной форме:

$$\Theta = -\lambda^{-1} \cdot P',$$

где  $\Theta$  - матрица-столбец (вектор) неизвестных температур размерности (mx1);  $\lambda^{-1}$  - обращенная матрица проводимостей;  $P'$  - вектор приведенных источников теплоты (потерь) размерности (mx1).

В результате теплового расчета были получены значения перегревов и абсолютных температур основных узлов двигателя для установившегося номинального режима. Наиболее нагретыми узлами оказались обмотка и зубцы статора. Расчетное значение температуры значительно превысило максимально допустимое значение для класса изоляции F. Таким образом, разработанная обратная конструкция вентильного двигателя кабины лифта имеет существенный недостаток, связанный с требованием обеспечения допустимого уровня нагрева обмотки.

Результаты эксперимента, проведенного в НПО «Автоматика», подтвердили, что при повторно – кратковременном режиме, характерном для работы лифта, обмотка статора двигателя действительно имеет недопустимо высокую температуру.

В связи с этим, были приняты меры для снижения перегрева в двигателе. Дополнительное оребрение внешних поверхностей щитов и обода ротора и их обдув не дают результата, так как перегрев их поверхностей по отношению к окружающей среде незначителен (перегрев в  $4...8^{\circ}\text{C}$ ).

Для того чтобы снизить перегрев обмотки статора, предлагается выполнить аксиальные каналы в сердечнике статора и осуществить продув воздуха в них при помощи вентилятора. Второй мерой является снижение внутренних термических сопротивлений пазовой изоляции обмотки двигателя за счет применения более теплопроводных изоляционных материалов и пропиточных сред на основе наноструктурированного оксидонитрида алюминия и повышения качества пропитки.

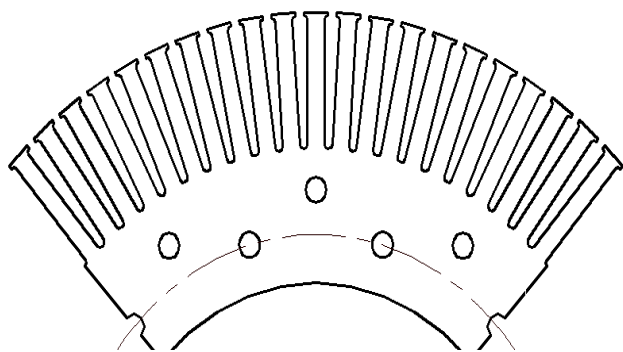


Рис. 3. Сегмент листа статора с аксиальными каналами

Для реализации этих мер в математическую модель тепловой схемы были внесены соответствующие изменения.

Как показали расчеты, принятые меры интенсификации охлаждения лифтового двигателя дали положительный результат: температура изоляции обмотки статора снизилась до  $163^{\circ}\text{C}$  и находится в допустимых пределах для класса изоляции F.

### *Библиографический список*

1. Носкова М.И., Денисенко В.И. Особенности конструкции вентильного двигателя кабины лифта// Статья в настоящем сборнике. С. 142-144.
2. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: Учеб. для вузов / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жданов. М.: Высш. шк., 1989. 239 с.
3. К оценке ультразвукового способа пропитки обмоток машин переменного тока компаундами с теплопроводящими наполнителями / М.В. Кычанов, В.В. Лыткин., А.И. Ягупов, В.И. Денисенко, А.Т. Пластун // Статья в настоящем сборнике. С. 116-118.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОГО ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИКИ

*Окулов Р.А., Калинин Н.С., Паршин В.С.*

*УрФУ*

*successfull555@gmail.com*

Сегодня Россия находится среди лидеров по экономическому росту. В 2009 г. прирост ВВП составил 7,1 %. Показатели роста в 2010 превышают прирост предыдущего года. Для сравнения: среднемировой – 3,7 %, в США – 4,5 %, в ЕС – 2,5 %, в Китае – 8,5 %. Но столь высокий показатель в Российской Федерации – временный и обусловлен благоприятными обстоятельствами. В ближайшем будущем ожидается его снижение до уровня 6...3 %. Результаты анализа Мирового энергетического агентства и других экспертов сводится к наиболее вероятной цифре – около 3 %, т. е. увеличение ВВП к 2030 г. всего в 1,9 раза. Это означает, что разрыв по экономическим показателям и уровню жизни между Россией и развитыми странами к 2030 г. останется по-прежнему значительным. И одна из главных причин невозможности быстрого роста экономики связана с высокой энергоемкостью ВВП и невозможностью резкого ее снижения. В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2030 года [1] необходимым условием поддержания заданных темпов экономического развития страны является снижение энергоемкости экономики в 2,2 раза в оптимистическом варианте и 1,8 раза – в пессимистическом. По оценкам ИСЭМ СО РАН, этот показатель вряд ли превысит значение 1,7, а Мировое энергетическое агентство вообще дает цифру – 1,4. Из последнего следует, что к 2030 году огромные различия по энергоемкости между РФ и развитыми странами останутся почти неизменными.

Цель данной статьи – определить нишу, а именно – область машиностроения, в которой есть смысл работать над снижением энергоемкости.

Высокая энергоемкость – проблема национальной экономики. Разумеется, есть объективные предпосылки, от которых никуда не уйти: суровый климат; большие расстояния; труднодоступность многих месторождений. Но имеются и другие факторы: очень высокая доля энергоемких отраслей в промышленности и очень малая – наукоемких и высокотехнологичных отраслей; энергорасточительные технологии как при производстве, так и потреблении энергии; отсутствие экономических стимулов для внедрения энергоэффективных технологий и мероприятий, в частности, из-за низких цен на топливо, особенно – на газ; недостаточный учет потребления энергоресурсов; неэффективные режимы и почти полное отсутствие современных систем регулирования энергопотребления.

Для наглядности несколько достаточно показательных примеров. Перерасход топлива для теплоснабжения достигает 30 % из-за несовершенства котельных и тепловых станций. КПД ТЭС с паровыми турбинами составляет 35 % (а небольших станций – даже 25 %) , в то время как в мире активно внедряются парогазовые установки (ПГУ) с КПД 50...60 %! Что касается цен на топливо, то здесь два отрицательных момента. Во-первых, низкие внутренние цены: на нефть – 72 % от экспортной цены, на уголь – 57 %, а на газ даже 20 %! Во-



вторых, ненормальное соотношение цен между разными энергоносителями – газ стоит в 2 раза дешевле угля (16,6 \$/т у. т. против 30,3 \$/т у. т. в 2007 г.), а должно быть наоборот, поскольку газ – гораздо более ценное сырье. Отсюда, как следствие, полное отсутствие стимулов для развития угольных технологий и также ненормальное соотношение использования газа и угля в энергетике. При производстве электричества в России доля газа составляет 42,6 %, а угля – всего 20,1 %, в то время как в ЕС – 17,5 % и 27,4 %, а в США – 19 % и 50 %. В целом же в энергетике России доля газа еще больше – 60...64 %.

Согласно «Энергетической стратегии» снижение энергоемкости ВВП будет достигаться двумя путями — на две трети за счет структурной перестройки экономики (увеличение доли наукоемких и малоэнергоемких производств, а также сферы услуг) и на треть за счет технологического и организационного энергосбережения. Вот здесь мы и подошли к центральному пункту данной статьи – принципиальной роли энергосбережения в национальной экономике. Энергосбережение из разряда желаемых мероприятий переходит в разряд необходимого условия, только при выполнении которого возможны высокие темпы развития экономики РФ.

В недавней аналитической статье европейских специалистов [2] в заголовок вынесены такие слова: Энергетическая стратегия России – определяющая роль энергосбережения. При этом отмечено, что Европа также сильно заинтересована в снижении энергоемкости ВВП России, поскольку поставки газа в ЕС определяются разницей между добычей и внутренним потреблением газа, а последний фактор существенно зависит от энергоэффективности экономики.

Экспертные оценки показывают, что Россия обладает гигантским потенциалом энергосбережения – более 40 % от общего энергопотребления (400...500 млн. т у.т. в год). Одна треть потенциала сосредоточена в отраслях ТЭК, другая треть — в промышленности и стройиндустрии, и четверть – в ЖКХ. Чрезвычайно важно подчеркнуть, что реализация указанного потенциала сопряжена с существенными затратами и не ограничивается простыми мероприятиями типа «Уходя, гасите свет», хотя они тоже обязательны. По данным из «Энергетической стратегии», 20 % потенциала энергосбережения можно реализовать при затратах до 15 \$/т у.т., что сопоставимо с ценой топлива. Самые дорогие мероприятия обойдутся в сумму более 60 \$/т у.т. (15 % потенциала энергосбережения). Основная часть мероприятий потребует затрат от 15 до 60 \$/т у.т. Таким образом, необходимы значительные целевые инвестиции, поскольку энергосбережение – это удел «богатых».

Решающим стратегическим направлением в развитии страны является повышение эффективности общественного производства, под которым подразумевается значительный рост производительности и снижение издержек производства, энергоемкости процесса производства.

Выводом может стать определение конкретного направления развития инноваций в сфере снижения энергоемкости. Колоссальное значение для развития страны имеет снижение энергоемкости реального сектора экономики. Ведущую роль в этой сфере играет производство изделий методом обработки ме-



таллов давлением (ОМД). Детали обрабатывают четырьмя способами: ковка, прокатка, прессование и волочение.

Предлагается исследовать влияние формы рабочего инструмента волочильных станков на энергоемкость процесса волочения и выбрать оптимальную форму инструмента.

#### *Библиографический список*

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009г. № 1715-р.
2. Энергетическая стратегия России — определяющая роль энергосбережения // Теплоэнергетика. 2007. № 7.

### **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЙ АГРЕГАТ С ВЕКТОРНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ**

*Осинов А.Г.*

*Южно-Уральский государственный университет*

*cobyd@mail.ru*

Недостатки существующих способов управления выпрямительными агрегатами СЭС энергоемких потребителей постоянного тока (а именно: диодного с РПН, диодного с дросселями насыщения, тиристорного) приводят в процессе эксплуатации к значительному перерасходу энергетических и финансовых ресурсов. Это, прежде всего, связано с тем, что указанные способы сопровождаются существенным снижением коэффициента мощности, обладают большой установленной мощностью управляемых приборов (тириستоров, либо дросселей насыщения), имеют сложную систему управления и дискретное регулирование (для диодного агрегата с РПН).

Токи первичных цепей выпрямительных трансформаторов в десятки, а иногда и в сотни раз меньше токов во вторичных цепях. Поэтому управление выпрямительными агрегатами целесообразно переносить на первичную сторону трансформаторов. Особенно очевидным это становится при возрастании мощности агрегатов, когда на подстанции осуществляются глубокие вводы повышенных напряжений.

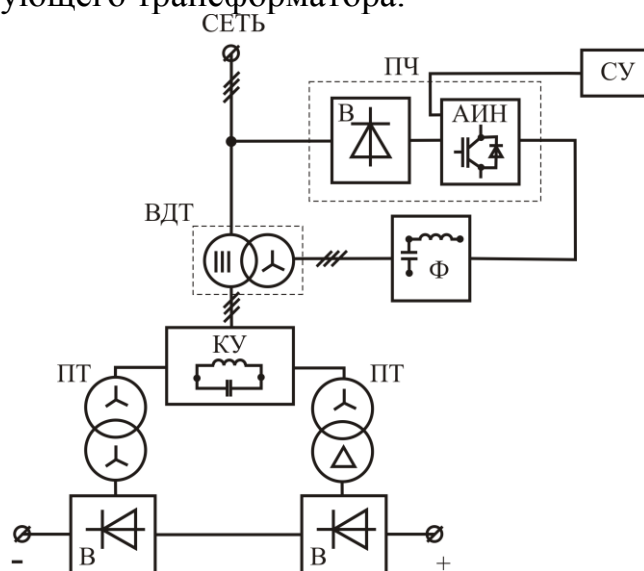
В докладе рассматривается принципиально новый способ построения выпрямительных агрегатов СЭС энергоемких потребителей постоянного тока, лишенный указанных для традиционных способов недостатков.

Регулирующая функция таких агрегатов «перенесена» на первичную сторону преобразовательных трансформаторов и осуществляется с помощью перспективного, позволяющего плавно изменять напряжение регулирующего устройства, как по амплитуде, так и по фазе. Функция компенсации реактивной мощности, наоборот, из внешней структуры преобразователя «перенесена» непосредственно в состав выпрямителя и осуществляется с помощью высокоэффективного компенсирующего устройства с пятой и седьмой гармониками напряжения на коммутирующих конденсаторах.

На рисунке представлена принципиальная схема одного из вариантов подобных выпрямительных агрегатов.

Регулирующее устройство представляет собой включенный через вольтодобавочный трансформатор преобразователь частоты (выпрямитель + автономный инвертор напряжения), система управления которого, формирует на выходе автономного инвертора напряжения (АИН) плавно изменяющееся по амплитуде и фазе напряжение.

Работа данного выпрямительного агрегата осуществляется следующим образом. После подключения агрегата к питающей сети на выходах преобразовательных блоков создается постоянное напряжение. При изменении напряжения на выходе выпрямителя или напряжения сети, система управления (СУ) в соответствии с определенным законом формирует на выходе АИН переменное импульсное трехфазное напряжение, которое после фильтрации через согласующий трансформатор добавляется или вычитается с напряжением сети, изменяя, тем самым, напряжение на выходе всего преобразователя. Максимальную глубину регулирования задают соответствующим выбором коэффициента трансформации согласующего трансформатора.



Принципиальная схема компенсированного выпрямителя с векторным регулированием выходных параметров

Систему управления данного преобразователя предлагается строить на основе нечеткого регулятора, в основе принципа работы которого, используются экспертные знания для управления объектом. Для настройки такой СУ не требуется создавать адекватную математическую модель объекта управления, а достаточно лишь знать принципы и особенности регулирования переменных объекта управления. Нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда технологические процессы являются слишком сложными для анализа с помощью общепринятых количественных методов. Простота программной и аппаратной реализации такой СУ, а также возможность корректировки управляющих правил в процессе эксплуатации позволят осуществить быстрое ее внедрение в технологический процесс.

Разработанный агрегат был промоделирован в пакете MATLAB/SIMULINK.

Параметры СЭС модели отвечали реальному комплексу электролиза алюминия с линейным напряжением питающей сети 220 кВ, номинальным выпрямленным током 100 000 А и напряжением 1500 В. С помощью модели проведены исследования всех основных характеристик СЭС, рассмотрены статические, динамические и аварийные режимы работы преобразователя.

Кроме того, на базе лабораторного стенда кафедры СЭС ЮУрГУ проведены экспериментальные исследования данного выпрямительного агрегата. По результатам эксперимента были построены регулировочные и внешние характеристики для двух вариантов преобразователей: компенсированного и некомпенсированного и для двух вариантов управления: амплитудного и фазового. Данные характеристики приводятся в докладе.

Проведенные исследования говорят о том, что компенсированный выпрямительный агрегат с векторным регулированием выходных параметров по сравнению с традиционными решениями обладает множеством важнейших свойств, обеспечивающих значительный энерго- и ресурсосберегающий эффект. К данным преимуществам можно отнести следующее:

1. Выпрямительные агрегаты имеют простейшее конструктивное диодное исполнение.

2. Диодный агрегат приобретает свойство полной управляемости, обеспечивающей любые режимы работы потребителя, как при отклонении параметров нагрузки, так и при колебаниях напряжения питающей сети. Это достигается оптимальным местом включения и малой установленной мощностью современного внешнего регулирующего устройства.

3. Сохраняются все преимущества компенсированных преобразователей с пятой и седьмой гармониками напряжения на конденсаторах:

- компенсирующее устройство за счет работы на частотах 250, 350 Гц имеет минимальную установленную мощность;

- за счет компенсации реактивной мощности непосредственно в месте ее потребления на 4...5% повышается жесткость внешних характеристик и выходная мощность выпрямительных агрегатов, что создает возможность на такую же величину повысить выходную мощность агрегата, обеспечивая значительных технологический эффект;

- полная компенсация реактивной мощности существенно снижает потери электрической энергии в системе электроснабжения, а соответствующая фазность преобразования агрегатов снимает проблему гармонического воздействия агрегатов на питающую сеть.

4. Выполнение системы управления на основе нечеткого регулятора делает её универсальной для корректировки, а простота программной и аппаратной реализации обеспечивают быстрое внедрение в технологический процесс.

#### *Библиографический список*

1. Хохлов Ю.И. Энерго- и ресурсосберегающие преобразовательные системы электроснабжения электролизного производства алюминиевой промышленности // Электрика. 2007. № 7. С. 3–9.
2. Хохлов Ю.И. Моделирование электромагнитных процессов в компенсированном выпрямителе с вольтодобавочным АИН с ШИМ / Ю.И. Хохлов, А.Г. Осипов, Д.В. Гиззатуллин //

Материалы докладов Международной научно-технической конференции «Энергетика–2008: инновации, решения, перспективы». В 5 кн. Кн. 3. Электроэнергетика и электроника. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008. С. 26–30.

3. Осипов А.Г. Применение системы нечеткого вывода для управления выпрямительным агрегатом СЭС алюминиевой промышленности // Научный поиск: материалы первой научной конференции аспирантов и докторантов. Технические науки. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. С. 254–259.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ**

*Охорзина Е.С., Суворов Д.М.*

*Вятский государственный университет, г. Киров*

*e-mail: dmilar@mail.ru*

Энергетическая эффективность теплофикации определяется экономией топлива при комбинированном производстве электроэнергии и тепла по сравнению с раздельным производством. Показателями, определяющими эту эффективность, являются, во-первых, коэффициент использования теплоты топлива ( $\eta_{um}$ ), во-вторых, удельные расходы топлива (или теплоты топлива) на единицу отпущенной потребителю энергии каждого вида (электроэнергии и теплоты среднего и низкого потенциалов, то есть в паре и сетевой воде соответственно). Дополнительным показателем эффективности является удельная комбинированная выработка электроэнергии ( $\mathcal{E}_m$ ), которая имеет особое значение при работе ТЭЦ по тепловому графику (при отсутствии или минимизации потерь в конденсаторах).

В данной работе выполнены расчеты основных показателей эффективности для характерных режимов работы отопительной ТЭЦ с турбинами типа Т-50-12,7 (такие условия характерны для всех отопительных ТЭЦ России с паротурбинными установками сверхвысокого начального давления) и для ТЭЦ промышленного предприятия, имеющей турбины с противодавлением типа ПР-6-3,4/0,98/0,49. В первом случае расчеты режимов проводились на адекватной математической модели турбоустановки, построенной на базе реальных энергетических характеристик отсеков проточной части, во втором случае – на математической модели промышленной ТЭЦ с двумя турбинами указанного типа, тремя энергетическими котлами, при давлении в отборе 1,2 МПа и противодавлении 0,3 МПа, при постоянной технологической нагрузке, покрываемой из отбора и равной 56,28 МВт, и переменной отопительной нагрузке, составляющей около 2 МВт в летний период и 26,7 МВт в расчетном режиме. Температура питательной воды на входе в котлы обеспечивалась на уровне 120 °С. В летний период работает одна турбина, в отопительный период – две.

Расчеты были проведены по методикам, представленным в [1], четырьмя наиболее представительными методами: эксергетическим, коэффициентов ценности пара, балансовым (физическим) и нормативным (метод фирмы «ОРГРЭС»). Для турбины Т-50-12,7 были рассчитаны три наиболее характерных режима: конденсационный, по тепловому графику с полностью закрытой

РД ЧНД и по электрическому графику с открытой полностью РД ЧНД при одноступенчатом (только в нижнем сетевом подогревателе) подогреве сетевой воды при ее расчетном расходе и температуре обратной сетевой воды 50 °С. Расход пара на турбину принимался неизменным и составлял 49 кг/с.

Основные результаты расчетов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов режимов работы турбины Т-50-12,7

Показатели / расчетный метод		Тепловой график	Электрический график	Конденсационный режим
Электрическая мощность, МВт		40,807	45,232	47,097
Тепловая нагрузка, МВт		78,956	34,718	0
Расход теплоты топлива, МВт		135,03	134,99	134,98
Коэф. использ. теплоты топлива $\eta_{um}$		0,887	0,592	0,349
Удельный расход топлива на выработку электроэнергии, г у.т./кВт·ч	эксергетический	309,1	331,8	351,9
	ценности пара	336,2	339,5	351,9
	физический	148,0	264,0	351,9
	ОРГРЭС	226,5	276,4	351,9
Удельный расход теплоты топлива на выработку э/э, $q_{\text{э}}$	эксергетический	2,517	2,738	2,866
	ценности пара	2,738	2,765	2,866
	физический	1,205	2,150	2,866
	ОРГРЭС	1,845	2,250	2,866
Удельный расход теплоты топлива на выработку т/э, $q_m$	эксергетический	0,409	0,368	-
	ценности пара	0,295	0,286	-
	физический	1,088	1,088	-
	ОРГРЭС	0,757	0,956	-
$q_{\text{э}} / q_m$	эксергетический	6,153	7,336	-
	ценности пара	9,282	9,650	-
	физический	1,108	1,977	-
	ОРГРЭС	2,437	2,353	-

Полученные результаты позволяют сделать следующие основные выводы.

1. При расчете реальных режимов работы ТЭЦ на точных моделях удельные расходы топлива и теплоты на выработку электроэнергии снижаются при переходе от конденсационного режима на работу по тепловому графику даже при применении эксергетического и балансового методов, а не только методов ОРГРЭС и физического.

2. Применение метода ОРГРЭС дает достаточно стабильное отношение параметров  $q_{\text{э}} / q_m$  для теплофикационных режимов работы, близкое к величине  $q_{\text{э}}$  в конденсационном режиме, что говорит о том, что для турбин с отопительными отборами на давление 12,7 МПа применение этого метода дает возможность распределить энергетический эффект от теплофикации по двум

видам энергетической продукции достаточно пропорционально, и для таких ТЭЦ применение данного метода следует признать целесообразным.

3. Применение методов учета ценности отбираемого пара и эксергетического является возможным, в частности, в исследовательских целях, но неподходящим для большинства реальных практических ситуаций в энергетике, поскольку они устанавливают коэффициент  $q_{\text{э}} / q_m$  на уровень от 6 до 10, то есть существенно завышают эффективность отпуска тепловой энергии, отдавая именно на экономику отпуска тепла весь энергетический эффект от комбинированной выработки.

Основные результаты расчетов двух характерных режимов работы охарактеризованной выше промышленной ТЭЦ и для сравнения ТЭЦ с турбиной Т-50-12,7 при работе по тепловому графику приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчетов режимов работы ТЭЦ при работе по тепловому графику

Показатели / расчетный метод		ПР- 6/3,4/0,98/0,49, летний режим	ПР- 6/3,4/0,98/0,49, расчетный режим	Т-50-12,7, тепловой график
Электрическая мощность, МВт		3,894	9,587	40,807
Суммарная тепловая нагрузка, МВт		58,194	82,959	78,956
Расход теплоты топлива, МВт		68,662	104,055	135,033
Коэф. использ-я теплоты топлива $\eta_{um}$		0,904	0,889	0,887
Удельный расход топлива на выработку э/э, г у.т/кВт·ч	эксергетический	339,3	340,3	309,1
	ценности пара	450,1	379,2	336,2
	физический	164,2	147,8	148,0
	ОРГРЭС	404,2	328,0	226,6
Удельный расход теплоты топлива на вы- работку э/э, $q_{\text{э}}$	эксергетический	2,763	2,772	2,517
	ценности пара	3,665	3,088	2,738
	физический	1,337	1,203	1,205
	ОРГРЭС	3,291	2,671	1,845
Средний удель- ный расход теп- лоты топлива на выработку т/э, $q_m$	эксергетический	0,995	0,934	0,409
	ценности пара	0,934	0,898	0,295
	физический	1,090	1,116	1,088
	ОРГРЭС	0,959	0,946	0,757
$q_{\text{э}} / q_m$	эксергетический	2,777	2,968	6,153
	ценности пара	3,923	3,439	9,282
	физический	1,227	1,079	1,108
	ОРГРЭС	3,431	2,824	2,437
Удельная выработка электроэнергии $\mathcal{E}_m$		0,067	0,116	0,487

Таким образом, расчеты показывают, что применение для ТЭЦ среднего давления, имеющих преимущественно паровую тепловую нагрузку, обеспечиваемую паровыми турбинами с противодавлением, иных методов, кроме физического, практически нецелесообразно, что связано с низкой удельной выработкой электроэнергии  $\mathcal{E}_m$ . В этих условиях, например, снижение удельного

расхода теплоты  $q_m$  на 13 % в летнем режиме (метод ОРГРЭС по отношению к физическому) приводит к увеличению  $q_э$  в 2,5 раза, что формально делает электроэнергию неконкурентоспособной на рынке при том, что  $\eta_{um}$  имеет наивысшее значение, равное 0,904. Завышенные значения  $q_э$  в этом случае свидетельствуют о том, что при замене такой ТЭЦ на ТЭЦ с давлением пара 12,7 МПа или на ГТУ-ТЭЦ удельная и абсолютная выработка электроэнергии на базе тех же тепловых нагрузок возросла бы в несколько раз.

#### *Библиографический список*

1. Киселев Г.П. Варианты расчета удельных показателей эффективности работы ТЭЦ: Методическое пособие. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 32 с.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ПИРОЛИЗА БЕРЕЗОВСКОГО УГЛЯ И РАСЧЕТ РАВНОВЕСНОГО СОСТАВА ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА**

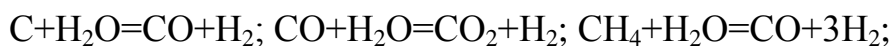
*Папченков А.И., Каграманов Ю.А., Мунц В.А.  
УрФУ, papchenkov@yahoo.com*

Целью настоящей работы является определение оптимальных условий пиролиза угля. Использование данной технологии обусловлено необходимостью применения двух видов топлив из исходного (угля): пиролизного газа и полукокса в технологической схеме [1] ПГУ с паровоздушным котлом. Предложенная схема снижает затраты на термообработку угля для топливообеспечения обоих циклов – ГТУ и ПТУ, а также дает возможность повышения КПД существующих котлов за счет сжигания полукокса, вместо угля.

Для расчета был взят Березовский уголь следующего состава:  $C^P=44,3\%$ ;  $W^P=33\%$ ;  $H^P=3\%$ ;  $N^P=0,4\%$ ;  $O^P=14,4\%$ ;  $S^P=0,2\%$ ;  $A^P=4,7\%$  с низшей теплотой сгорания  $Q_H^P=22650$  кДж/кг [2]. Окислителем является кислород топлива, незначительные присосы воздуха, а также регулируемая подача дополнительного окислителя для поддержания адиабатной температуры процесса. Принципиальное описание конструкции пиролизера можно найти в [1].

Рассматривается процесс, когда свободного углерода в системе нет, а образование сажи термодинамически невозможно ( $\alpha_B > \alpha_C$ ), где  $\alpha_B$  – коэффициент подачи окислителя;  $\alpha_C$  – значение, ниже которого неизбежно выделение сажи в равновесных продуктах. Расчет был произведен с использованием уравнений материального баланса и равновесия химических реакций водяного газа и конверсии метана водяным паром [3].

Температура пиролиза в условиях, близких к адиабатным, была найдена из уравнения теплового баланса. Чтобы с достаточной полнотой описать химические превращения в пиролизере и найти конечную теплоту, выделившуюся в процессе пиролиза, за основу были взяты уравнения равновесия следующих реакций:



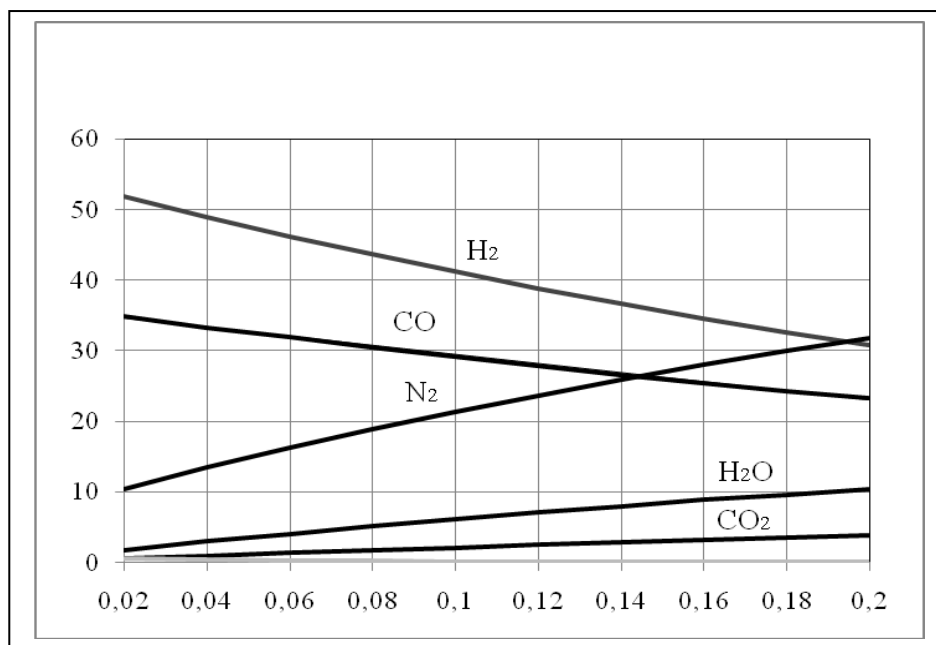
$$K_1 = \frac{M_{CO_2} \times M_{H_2}}{M_{CO} \times M_{H_2O}}; \quad K_2 = \frac{M_{H_2} \times M_{CO} \times p^2}{M_{CH_4} \times M_{H_2} \times M_{H_2O}^2}$$

$K_1$  и  $K_2$  – константы равновесия реакций, значения которых зависят только от температуры, следовательно равновесие реакций водяного газа и конверсии метана водяным паром при изменении давления в пиролизере не смещается. Методом последовательных приближений были найдены соответствующие температуры в пиролизере при изменении коэффициента подачи окислителя.

Определение диапазона расходных характеристик окислителя на один килограмм угля для максимального выхода желательных продуктов пиролиза должно быть ориентировано на поддержания оптимальной температуры протекания реакции водяного газа, диапазон которой лежит в пределах 800...1000 °С.

Граница сажевыделения в этих условиях получилась равной  $\alpha_c=0,0356$ . Низкое значение объясняется тем, что в реакции не участвует коксовый углерод. Рабочего состава летучей части рассчитан из элементного состава угля через известную характеристику выхода летучих на горючую массу  $V^F$ .

Таким образом, в рамках этого исследования, диапазон варьирования подачи окислителя был ограничен в пределах 0,0356...0,2. Ограничение по верхнему значению обусловлено достаточностью окислителя для прохождения рассмотренных реакций. Диапазон дает возможность регулирования мощности горения за счет изменения дутья-тяги, без значительного уменьшения КПД энергоустановки. В рамках этих значений может осуществляться регулирование адиабатной температуры пиролиза и равновесного состава пиролизного газа. На рисунке представлена зависимость компонентов продуктов реакции от коэффициента подачи окислителя.



Зависимость равновесного состава пиролизного газа (% , ось ординат) от объема подаваемого окислителя ( $\alpha_v$ , ось абсцисс)



С увеличением подачи окислителя содержание  $H_2$  и  $CO$  падает, значительно возрастает содержание  $N_2$  – основного балласта; монотонно возрастает содержание  $H_2O$  и  $CO_2$ ; содержание  $CH_4$ , даже при втором приближении, изменяется незначительно и практически равна нулю, ввиду организации процесса при невысоком давлении. В зависимости от коэффициента подачи окислителя, теплотворная способность пиролизного газа изменяется в пределах  $6,87 \dots 10,2$  МДж/м<sup>3</sup> (или  $5,49 \dots 6,56$  2 МДж/кг). Низшая теплотворная способность получающегося полукокса в среднем выше в 1,7 раз, чем у угля, а у пиролизного газа – в 0,36 раза ниже при расчете на единицу массы. Количество израсходованной в процессе пиролиза теплотворной способности варьируется в пределах  $2,068 \dots 0,999$  МДж/кг пиролизного газа. Это тепловая энергия, необходимая для поддержания адиабатной температуры процесса; утилизация части образовавшихся газов также облегчает прогрев массива топлива [4].

На практике состав продуктов пиролиза более многообразен и сложен. Помимо указанных компонентов, также в разных пропорциях могут образовываться разные побочные продукты, например, такие, как пары смолы и уксусной (древесной) кислоты ( $CH_3COOH$ ), грамотная утилизация которых играет немаловажную роль, ввиду известных разрушительных и низких теплопроводящих характеристик.

Данная работа служит основой и отправной точкой к детальной разработке принципиальной конструкции пиролизера, разработке схемы утилизации побочных продуктов, схемы разделения потоков горячих и холодных газов, схемы отвода балластных газов, разработке кинетической модели горения, выявление кинетических закономерностей каталитического пиролиза, подбору катализаторов для оптимизации равновесия указанных реакций, разработка математической модели промышленного реактора пиролиза.

Как известно, комбинированная выработка тепловой и электрической энергии, является наиболее экономически целесообразной. Применение технологической схемы, предложенная в [1], может заметно оптимизировать генерацию; пиролизер является одним из ключевых элементов предложенной схемы. При росте цен на энергоресурсы необходимость повышения энергоэффективности при их использовании будет все более возрастать, поэтому уже сейчас актуально стоит вопрос о проведении разработок и внедрении подобных технологий. Рационализация использования минеральных топлив при модернизации существующих ПГУ и угольных котлов в значительной мере может послужить конструктивным решением задач, поставленных руководством нашей страны [5, 6].

#### *Библиографический список*

1. Развитие угольных парогазовых технологий / В. Л. Шульман, А. В. Зайцев // Горение твердого топлива: VII Всероссийская конференция с международным участием, 10-13 ноября 2009 г. Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 2009. Ч. 2. С. 188-193.
2. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Под ред. д.т.н. Н.В. Кузнецова. М.: Энергия, 1973. С. 182-185.
3. Баскаков А.П. Нагрев и охлаждение металлов в кипящем слое. М.: Металлургия, 1974. С. 24-27.

4. Кислицин А.Н. Пиролиз древесины: химизм, кинетика, продукты, новые процессы. М.: Лесная промышленность, 1990. С. 54.
5. Постановление Правительства РФ от 11.02.1999 № 163 «О подписании Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата»
6. Федеральный Закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

## **ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ПРОЦЕССОВ СУШКИ**

*Пастухов Т.Л., Хомяков А.П.*  
*УрФУ*  
*E-mail: mastertom@list.ru*

Процесс сушки широко используется в промышленных операциях. Нередко можно встретить применение процесса сушки в химических, нефтяных, фармацевтических, сельскохозяйственных, биохимических, пищевых отраслях.

В данной статье приведены некоторые способы повышения эффективности процессов сушки на примере распылительной сушки.

Одним из методов интенсификации процесса сушки является повышение начальной температуры сушильного агента. Чем выше температура сушильного агента, тем меньше его расход, меньше габариты сушилки, выше термический КПД сушилки [1].

Для оценки влияния температуры сушильного агента на показатели работы сушилки и стоимость процесса сушки были выполнены материально-тепловые и технико-экономические расчеты сушилок при начальной температуре воздуха 160, 240 и 320 °С. Расчеты проведены для установки производительностью 2000 кг/ч испаренной влаги при сушке обезжиренного молока с исходным содержанием сухих веществ 46 %. В таблице приведены результаты расчета. Рассмотрено четыре варианта работы сушилок. Первый вариант предусматривает сушку с начальной температурой теплоносителя 160 °С при нагреве теплоносителя в паровом калорифере. При втором варианте теплоноситель подают в сушилку с температурой 240 °С, при чем нагрев его до 160 °С осуществляется в паровом калорифере, а далее в электрокалорифере. По третьему варианту сушилка оснащается паровым и электрическим калориферами, которые нагревают теплоноситель до 320 °С. Четвертый вариант – начальная температура теплоносителя – 320 °С, достигается за счет нагрева в огневом калорифере. Установлено, что с увеличением температуры входящего в сушилку сушильного агента значительно уменьшаются его расходы, установленная мощность электродвигателей, габариты сушильной камеры, поверхность теплообмена калорифера, а вследствие этого и капиталовложения на оборудование. Наиболее рациональным из всех вариантов, приведенных в таблице, является сушильная установка с огневым калорифером, нагревающим теплоноситель до 320 °С.

Наименование показателя	Температура сушки, °С				
	160 паровой	240 паровой + электр.	320 паровой+ электр.	240 огневой	320 огневой
Производительность по испаренной влаге, кг/ч	2000	2000	2000	2000	2000
Стоимость пара, руб./ч	682,5	312,75	205,5	0	0
Стоимость природного газа на подогрев воздуха, руб./ч	0	0	0	192,75	172,5
Стоимость мазута на подогрев воздуха, руб./ч	0	0	0	300	270
Стоимость электроэнергии на подогрев воздуха, руб./ч	0	553	728	0	0
Стоимость электроэнергии на нагнетание и отсос воздуха, руб./ч	192,5	87,5	56	86,8	67,2
Капиталовложения на основное технологическое оборудование, руб.	7887000	4742760	3810840	5889510	4732200
Суммарные капиталовложения с учетом монтажа, оснастки, системой КИПиА, руб.	13407900	8062692	6478428	10012167	8044740
Амортизационные отчисления руб./год	2145264	1290031	1036548	1601947	1287158
Эксплуатационные затраты, руб./ч	875	953,25	989,2	*279,55 **386,8	*239,7 **337,2
Себестоимость 1 т испаренной влаги, руб./т	586,48	566,21	566,58	*251,02 **304,65	*209,24 **257,99

\* При сжигании природного газа

\*\* При сжигании мазута

Основным средством для нагрева сушильного агента в действующих установках сушки является паровой калорифер, который является наиболее металлоёмким из технологического оборудования. В этих условиях изыскание путей интенсификации работы калориферов является весьма актуальной задачей, поскольку позволяет сократить затраты на изготовление наиболее металлоёмкого оборудования.

В работе [1] проведен анализ условий теплообмена в конденсатных и паровых секциях калорифера, проведена сравнительная оценка интенсивности теплопередачи в калориферах с различным конструктивным исполнением теплообменных труб. На основании этих работ предложены рекомендации для повышения эффективности паровых калориферов и теплообменного оборудования, в которых используются оребренные теплообменные трубки.

Паровые калориферы обладают существенным недостатком, связанным с тем, что параметры пара, подаваемого на калорифер, не позволяют обычно увеличить температуру нагреваемого воздуха более 170...180 °С.

Помимо паровых калориферов, в сушильных установках применяют газовые или огневые калориферы [3], нагрев воздуха в которых осуществляется за

счет тепла продуктов сгорания жидкого или газообразного топлива. Эти калориферы обеспечивают постоянство температуры горячего воздуха при нагревании его до 200...300 °С [3]. Использование огневого калорифера позволяет значительно уменьшить стоимость получения 1 тонны готового продукта [1]. Разработаны огневые калориферы, которыми оснащены сушильные установки производительностью 250 и 2000 кг/ч испаренной влаги.

Огневой калорифер, хотя и обладает рядом достоинств, является одним из наиболее сложных и дорогостоящих аппаратов сушильной установки. Исключение калорифера позволило бы упростить схему сушильной установки, существенно снизить стоимость её, в конечном счете, уменьшить стоимость испарения влаги в сушилке. Исходя из этих соображений, проработаны варианты сушильных установок, в которых в качестве сушильного агента используются непосредственно продукты сгорания, получаемые в топке от сжигания природного газа. Известно, что топочными газами, получаемыми при сжигании природного газа, сушат даже кровезаменители и другие стерильные продукты. Рассмотрено три режима работы сушилки: с температурой газовой смеси на входе в сушилку – 160, 240 и 320 °С. Установлено, что применение топочных газов для сушки продуктов позволяет в 2,6...2,7 раза снизить стоимость испарения влаги в сушилке. Причем эта стоимость уменьшается по мере увеличения температуры газов на входе в сушилку.

Вышеописанный прием повышения эффективности процесса распылительной сушки был использован специалистами при модернизации распылительной сушильной установки, эксплуатируемой на «Моспищекомбинате» ОАО «Русский продукт»

#### *Библиографический список*

1. Пути повышения эффективности сушки молочных продуктов: Обзорная информация по основным направлениям развития отрасли. Молочная промышленность / В.Д. Харитонов, В.Я. Грановский, В.И. Левераш, А.П. Хомяков. М.: АгроНИИТЭИММП, 1986. 32 с.
2. Циборовский Я. Процессы химической технологии. Л.: Госхимиздат, 1958. 932 с.
3. Лыков М.В., Леончик Б.И. Распылительные сушилки. М.: Машиностроение, 1966.

### **КОНЦЕПЦИЯ ИНТЕНСИВНОГО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ – НАУЧНАЯ СТРАТЕГИЯ ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

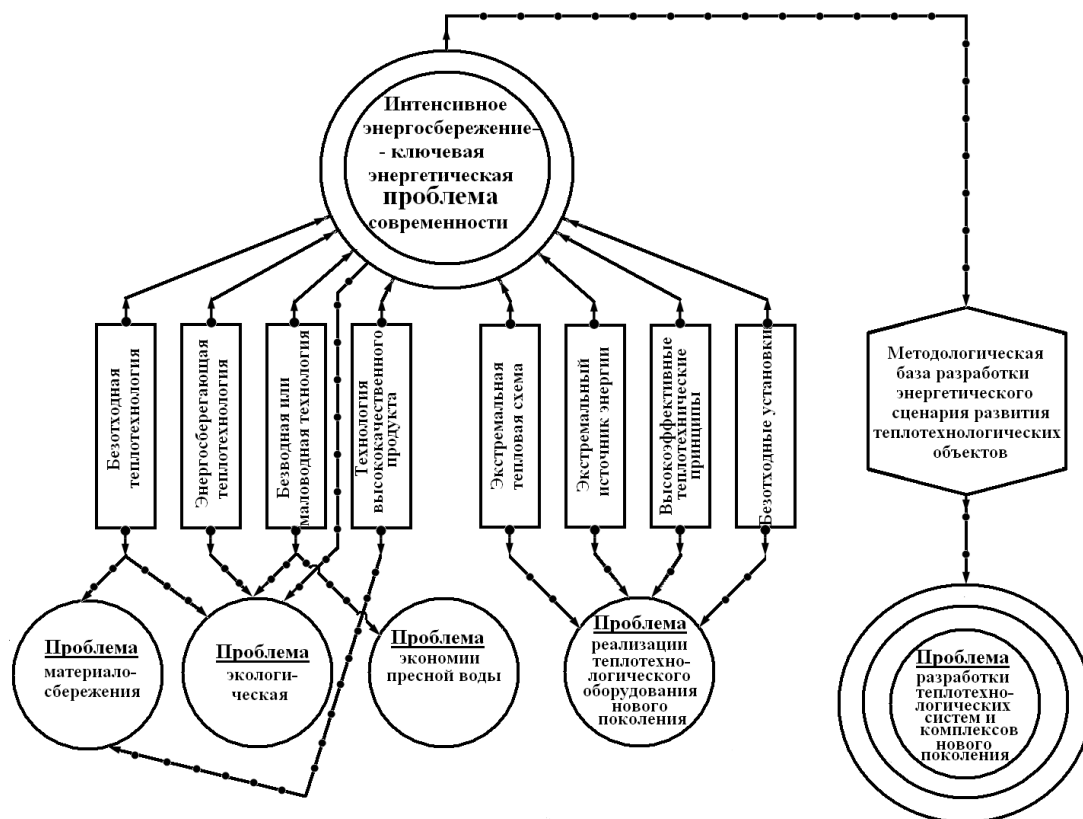
*Петин С.Н., Ключников А.Д.*

*Московский энергетический институт (Технический университет)*

*spetin@yandex.ru, KliuchnikovAD@mpei.ru*

На основании Указа Президента Российской Федерации от 04.06.2008 № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» энергоемкость валового внутреннего продукта (ВВП) Российской Федерации к 2020 году должна быть снижена не менее чем на 40 % по сравнению с 2007 годом. Одним из направлений снижения энергоемкости ВВП может быть реализация на практике результатов научной деятельности российских научных школ, связанных с энергосбережением.

Одним из научных направлений в области энергосбережения является: «Концепция интенсивного энергосбережения», разрабатываемая на кафедре Энергетики высокотемпературной технологии (ЭВТ) Института проблем энергетической эффективности (ИПЭЭФ) ГОУ ВПО МЭИ (ТУ). Основные моменты данной концепции методологии изложены в [1-4].



Интенсивное энергосбережение – главное звено в цепи ряда взаимосвязанных актуальных проблем теплотехнологии

Концепция интенсивного энергосбережения – это научно-обоснованный взгляд на проблему энергосбережения в теплотехнологиях, устанавливающий способы:

1. Объективного отражения масштаба и качества использования топливно-энергетических в объекте энергетического анализа;
2. Выявления предельно полного состава энергосберегающих мероприятий;
3. Установления уровней предельно полного и практически возможного энергосберегающих эффектов;
4. Прогнозирования опорных признаков перспективных моделей энерго-материалосберегающих и экологически безопасных объектов будущего;
5. Стимулирования поиска энергосберегающей техники нового поколения;
6. Формирования программы конкретных мероприятий глубокой энергетической, технической и экологической модернизации действующих теплотехнологических объектов (установок систем, комплексов).

Наименование теплотехнологического комплекса, системы, установки	Энергоемкость продукта в ДТТО, кг у.т./ед.прод.	Потенциальный максимальный энергосберегаю- щий эффект		Литератур- ный источник
		кг у.т./ед. прод.	%	
Теплотехнологический комплекс черной металлургии с полным циклом	1365-1481 кг у.т./т	800	58	[5]
Теплотехнологический комплекс цементной промышленности	276 кг у.т./т	623	226*	[6]
Теплотехнологический комплекс производства строительной керамики	167,85 кг у.т./т	146,14	87	[7]
Металлургическая теплотехнологическая система производства стальной проволоки	1324 кг у.т./т	966,1	73	[7]
Стекловаренная теплотехнологическая установка в системе производства стекловолокна	483,1 кг у.т./т	408,6	85	[7]
Теплотехнологический комплекс производства водорода	0,682 кг у.т./м <sup>3</sup> (H <sub>2</sub> )	5,98	877*	[8]

\*достигаемая экономия за счет снижения расходов энергии в смежных производствах при комбинировании теплотехнологических производств

Концепция интенсивного энергосбережения может претендовать сегодня на место современной методологической базы разработки энергетических сценариев развития действующих и создания новых производственных систем, основанных на теплотехнологиях.

Интенсивное энергосбережение – звено в цепи ряда взаимосвязанных актуальных проблем и задач теплотехнологии, это заключение проиллюстрировано на рисунке.

На основании концепции интенсивного энергосбережения определены достаточно высокие энергосберегающие эффекты на теплотехнологических объектах, которые представлены в таблице.

Таким образом, на основании достигнутых результатов видно, что интенсивное энергосбережение – является локомотивом (тягачем) общего (технологического, энергетического, экологического, технического) прогресса теплотехнологических систем и комплексов, в первую очередь, энергоемких отраслей промышленности.

#### *Библиографический список*

1. Ключников. А.Д. Энергетика теплотехнологии и вопросы энергосбережения. М.: Энергоатомиздат, 1986.

2. Ключников А.Д., Попов С.К. Диагноз энергетической эффективности и прогноз резерва интенсивного энергосбережения теплотехнологической системы. М.: Изд-во МЭИ, 1999.
3. Ключников А.Д. Критерии энергетической эффективности и прогноз резерва интенсивного энергосбережения теплотехнологии, теплотехнологических установок, систем и комплексов. М.: Изд-во МЭИ, 1996.
4. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / под. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. 3 изд. перераб. и доп. М.: Изд-во МЭИ, 2004 (раздел 2).
5. Картавцев С.В. Разработка на базе концепции интенсивного энергосбережения перспективной модели энергоматериалосберегающего теплотехнологического комплекса черной металлургии: автореф. дис. ...д-ра техн. наук. М.: МЭИ (ТУ), 2007. 40 с.
6. Напалков Н.Г. Разработка на базе концепции интенсивного энергосбережения перспективной модели энергоматериалосберегающей системы на цементный клинкер: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ (ТУ), 2006. 20 с.
7. Попов С.К. Разработка методологии решения задач интенсивного энергосбережения в высокотемпературных теплотехнологиях: автореф. дис. ... -ра техн. наук. М.: МЭИ (ТУ), 2009. 40 с.
8. Петин С.Н. Разработка перспективной модели энерго- и экологически эффективного производства водорода на базе природного газа и комбинирования процессов в черной металлургии: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ (ТУ), 2009. 20 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОПАРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

*Петухов Д.В., Веселков Е.А., Эфрос Е.И.  
Вятский государственный университет, г. Киров  
e-mail: [winstr@mail.ru](mailto:winstr@mail.ru)*

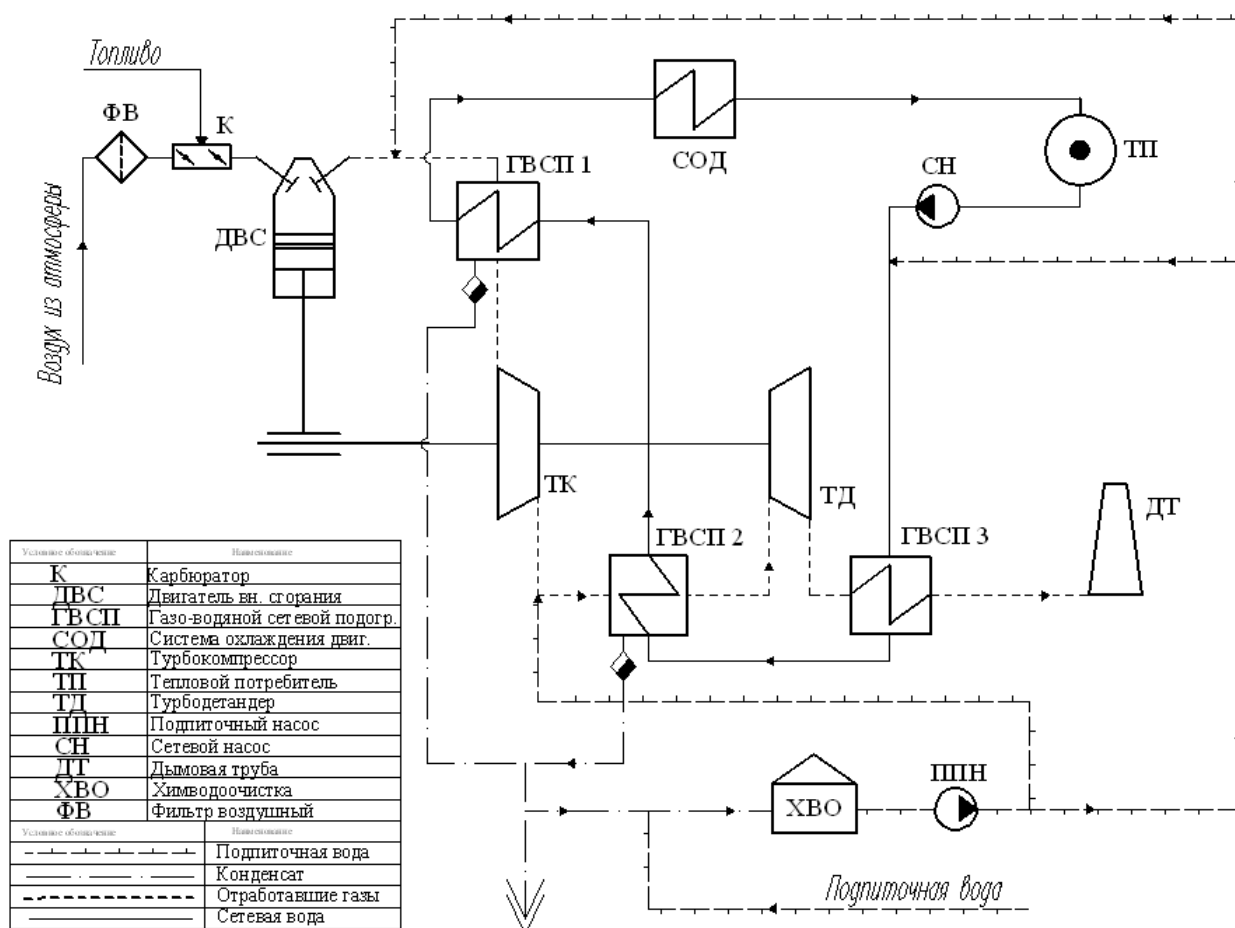
В новых экономических условиях перехода к социально-ориентированным рыночным отношениям, высокого уровня инфляции, невозможности использования централизованных средств для восполнения отработавших свой ресурс и требующих замены генерирующих мощностей, ориентация на традиционное централизованное тепло-энергоснабжение от крупных источников становится проблематичной. В настоящее время наметилась тенденция на строительство децентрализованных комбинированных источников электро- и теплоснабжения, устанавливаемых как в существующих отопительных котельных, так и на вновь строящихся источниках тепла.

Создание таких энергоустановок имеет ряд преимуществ. Среди них основными являются короткие сроки строительства, повышение надежности теплоснабжения потребителей, снижение инерционности теплового регулирования и потерь в тепловых сетях. Создание подобных мини-ТЭЦ возможно на базе классических тепловых двигателей: паротурбинных, газотурбинных, двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Применение газопаровых технологий предполагает использование традиционных тепловых двигателей, в которых рабочим телом является искусственно созданная газопаровая среда. Данная технология позволяет, при определенных условиях, оптимизировать термодинамические циклы тепловых двигателей, а также увеличить эффективность утилизации теплоты уходящих газов.

Газопаровой цикл в газотурбинных установках обеспечивается впрыском водяной среды в газовый тракт (например, в камеру сгорания). Это позволяет

обеспечить поддержание допустимого уровня температуры рабочего тела перед собственно газовой турбиной при минимальном (необходимом для полного сгорания топлива) расходе воздуха, что существенно снижает относительные затраты энергии на привод компрессора. Одновременно подобный цикл способствует решению экологических проблем, поскольку дает возможность значительно (в разы) снизить выброс в окружающую среду оксидов азота. Впрыск водяной среды в газовый контур приводит к повышению парциального давления водяных паров в рабочей газо-паровой среде, что позволяет осуществить практически полную их конденсацию в газо-водяных сетевых подогревателях (ГВСП). Полная конденсация водяных паров из отработавших газов снижает потери теплоты с уходящими газами, а существенно возросший коэффициент теплопередачи позволяет снизить площадь теплообмена в ГВСП, что положительно сказывается на противодавлении и электрической мощности турбины. Подобные газопаровые установки могут быть использованы как альтернатива новых котельных установок в условиях газификации, в качестве мини-ТЭЦ.



Принципиальная схема мини-ТЭЦ на базе ДВС, с системой высокoeffективной утилизации теплоты уходящих газов



Организация газопарового цикла в ДВС возможна за счет: подачи водяной среды во впускной коллектор двигателя, впрыска водяной среды непосредственно в цилиндр, использования водно-топливного раствора или эмульсии. В данном проекте исследовалась работа карбюраторного ДВС при использовании растворов этилового спирта в качестве топлива. Эффективность применения этилового спирта как топлива для ДВС широко известна. Применение водных растворов этилового спирта позволяет повысить детонационную устойчивость топлива, снизить температуры процессов сгорания и расширения, обеспечить высокий экологический уровень отработавших газов, увеличить массовую долю водяных паров в отработавших газах, и как следствие – облегчить процесс сьема тепла в газо-водяных сетевых подогревателях.

В данном исследовании были определены энергетические показатели работы карбюраторного ДВС, проведены экспериментальные испытания лабораторной модели, а также разработаны некоторые способы повышения эффективности утилизации теплоты отработавших и уходящих газов энергетического оборудования.

Система утилизации теплоты уходящих газов, представленная на рисунке, ориентирована на процесс максимальной конденсации водяных паров из отработавших газов ДВС, образующихся при сгорании любого органического топлива. Для этого перед ГВСП 1, в поток отработавших газов, впрыскивается водяная среда, это способствует повышению давления насыщения водяных паров и более интенсивной конденсации влаги в подогревателе. Затем охлажденные, но все еще влажные, отработавшие газы направляются в турбокомпрессор, где они сжимаются, и их температура возрастает пропорционально степени повышения давления. После турбокомпрессора в поток газов также организован впрыск водяной среды, с целью увеличения парциального давления водяных паров. В ГВСП 2, при избыточном давлении, происходит практически полная конденсация водяных паров, а в турбодетандере расширение уходящих газов до атмосферного давления и низких температур.

Представленная система утилизации теплоты уходящих газов может быть с еще большим успехом применена для котельного оборудования, топливом для которого является природный газ.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали возможность создания высокоэффективных мини–ТЭЦ на базе газотурбинных и газопоршневых двигателей с применением газопаровых технологий. При использовании этилового спирта в качестве топлива для тепловой электрической станции, осуществленной на базе ДВС, работающего по циклу Отто, максимальный КПД по выработке электрической мощности, без использования турбонаддува, может составлять 40 %, а коэффициент преобразования теплоты, являющийся отношением дополнительной тепловой мощности ГВСП 2 к затраченной механической мощности в турбокомпрессоре, равен трем. Таким образом, коэффициент использования теплоты топлива на данной установке близок к 100 %.

Для двухтопливных газодизельных установок использование газопаровых технологий позволит получить еще более высокие показатели по удельному расходу топлива и коэффициенту использования теплоты.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ДИЗАЙН В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Пирогов А.Н.*

*ГБУ Свердловской области «Институт энергосбережения»*

*e-mail: a.pirogov@ines-ur.ru*

*www.ines-ur.ru*

В последние несколько лет строительная отрасль находится под влиянием изменившегося подхода в части потребления энергетических ресурсов, комфорта зданий и заботы об экологии. Государство в полной мере поддерживает такие изменения и, в значительной мере, выступает их инициатором. В частности, были приняты федеральные законы, имеющие эпохальное значение: № 261-ФЗ от 23.11.2009 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», № 190-ФЗ от 27.7.2010 «О теплоснабжении». Во исполнение 261-ФЗ был также выпущен приказ Минрегионразвития РФ № 262 от 28.05.2010 «О требованиях к энергетической эффективности зданий, строений, сооружений», предусматривающий поэтапное существенное снижение энергопотребления зданий. В частности, приказ Минрегионразвития РФ № 262 предписывает указывать в задании на проектирование класс энергетической эффективности В («высокий») и процент снижения нормируемого удельного потребления энергии по отношению к базовому уровню, который также устанавливается данным приказом. Таким образом, энергопотребление зданий к 2020 году должно быть снижено на 40 %. Цифра эта совершенно не случайна – именно такой критерий устанавливается Указом Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики». Несмотря на предлагаемые приказом мероприятия по повышению энергетической эффективности зданий, очевидно, что для достижения поставленной цели традиционный подход к проектированию, строительству и даже к эксплуатации зданий должен существенно измениться.

Один из вариантов достижения поставленной цели – переход к энергетическому дизайну (в зарубежной практике широко распространен термин, не имеющий прямой аналогии в русском языке - «sustainable architecture» - дословно: «устойчивая архитектура»). Идея использовать количество энергии в качестве меры стоимости объекта была предложена еще в 1983 году В.И. Вернадским. Однако идеи Вернадского не нашли своевременного применения в России, поэтому энергетический дизайн является для нашей строительной отрасли инновационным подходом, предлагающим принятие за основу критерия эффективности - потребление энергии (здесь и далее под энергопотреблением будем понимать потребление не только тепловой, электрической энергии, газа

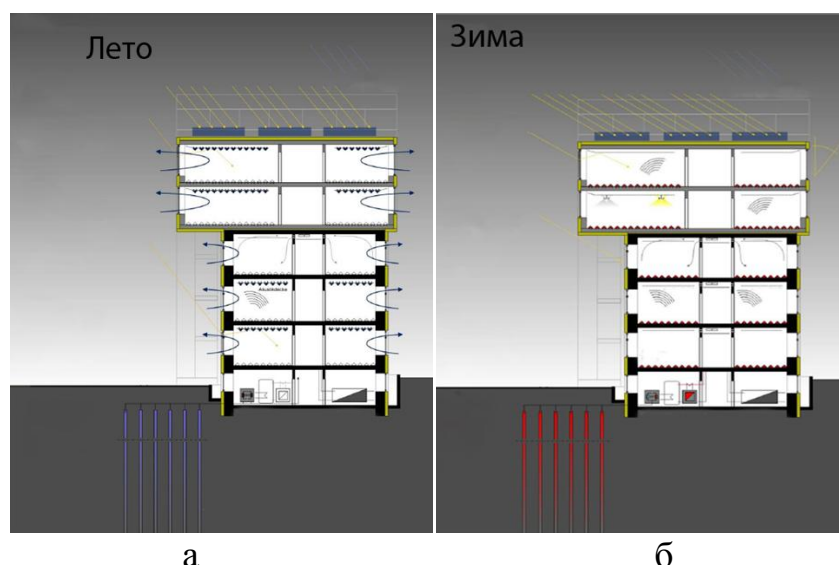
и других энергоносителей, но также и воды) при строительстве, эксплуатации и утилизации здания, при обеспечении гарантированного комфорта человека в этом здании и безопасности для окружающей среды.

Именно энергоэффективные здания позволяют обеспечить необходимый баланс между температурой внутренних поверхностей, температурой и влажностью воздуха, тепловым излучением, естественным и искусственным освещением, скоростью движения воздушных масс и количеством свежего воздуха в помещении. Это достигается за счет грамотного планирования здания, применения ограждающих конструкций (стен, окон, дверей и т. д.) с повышенной тепловой защитой и минимальной величиной «мостиков холода» и современной системы вентиляции с системой возврата тепла в помещение, и широкого применения пассивных систем в здании.

Говоря об энергоэффективных зданиях, следует понимать прежде всего дома ультранизкого потребления ( $<30 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  на отопление) и энергопассивные ( $<15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  на отопление). Благодаря минимальным потерям тепла в энергопассивном здании возможно обойтись вообще без классической системы отопления. Для обогрева здания в зимнее время достаточно тепловых выделений от находящихся в здании людей, электроприборов и поступающей через оконные проемы солнечной энергии. Подогревать необходимо будет только подаваемый в помещение уличный воздух (именно на подогрев воздуха будут расходоваться те самые  $15 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ). Для сравнения: в соответствии со СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» потребление тепловой энергии жилых домов в Екатеринбурге в зависимости от этажности может находиться в пределах от 120 (12 этажей и выше) до 240  $\text{кВт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  (1 этаж).

Важно отметить, что потребление энергетических ресурсов строительным объектом рассматривается на протяжении всего его жизненного цикла – начиная с производства строительных материалов и заканчивая утилизацией выработавшего свой ресурс здания. Подобный подход подкреплен международным стандартом ISO 14044-2007 “Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines” и основанным на нем ГОСТ Р ИСО 14044-2007 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации». Следствием снижения потребления энергии при производстве строительных материалов, в процессе строительства, эксплуатации и утилизации здания является уменьшение потребления первичного топлива (нефть, газ, уголь и др.) в глобальном масштабе, и соответственно, снижение негативного влияния на окружающую среду в виде уменьшения эмиссии парниковых газов и других вредных веществ.

Как же выглядит применение принципов энергетического дизайна на практике? Прежде всего – это создание энергетической концепции здания, в которой отражается взаимодействие основных элементов и систем здания, а также раскрывается то, как здание в дальнейшем будет освещаться, отапливаться и вентилироваться в разные сезоны года – зимой, летом и в межсезонье. При создании энергетической концепции огромное значение имеют форма здания, его ориентация в пространстве, функциональное назначение.



Рассмотрим схематично представленную на рисунке энергетическую концепцию общественного здания для летнего (а) и зимнего (б) периодов (Institute of Building Services and Energy Design, Braunschweig – здание Немецко-Казахского Университета, г. Алма-Аты). В летнее время (а) в данном примере в ряде помещений используется естественное проветривание в сочетании с потолочным охлаждением, для работы которого используется холод грунта, а в некоторых приточно-вытяжная механическая вентиляция. Для защиты от перегрева служит наружная фиксированная солнцезащита на фасаде. В дневное время освещение используется только естественное. Для нужд горячего водоснабжения и электроснабжения предусматриваются фотогальванические панели и солнечные коллекторы на крыше здания. В зимнее время (б) для отопления здания используется тепло земли, подаваемое с применением теплового насоса в напольные отопительные приборы. Для вентиляции применяется централизованная приточно-вытяжная система с возвратом тепла. Для обеспечения достаточной освещенности рабочих мест в случае надобности по сигналу датчика освещенности включается необходимое количество светильников, начиная от дальней от окна стены. Для энергоснабжения используются фотогальванические элементы на крыше.

Энергетическая концепция позволяет добиться синергетического эффекта от работы систем отопления, вентиляции, кондиционирования, пассивных и других систем. В качестве примера несогласованной работы можно привести семинар в одном из современных екатеринбургских отелей: в зимнее время в конференц-зале, полностью заполненном людьми, на полную мощность работала вентиляция, были приоткрыты окна, система отопления продолжала работать в том же режиме, как и в пустующем зале. Менее чем через час в зале стало слишком жарко (порядка 26 °С) и не комфортно, а владелец здания при этом несет ненужные затраты на отопление и вентиляцию.

Значение энергетической концепции сложно переоценить при передаче здания в эксплуатацию, обучении персонала управляющей компании и служащих или жильцов этого здания.

Подводя итог, следует отметить, что применение принципов энергетического дизайна позволяет не только получить здание с низким уровнем потреб-

ления энергии и прекрасным микроклиматом, но и в большинстве случаев добиться этого без существенного увеличения стоимости здания за счет минимизации или полного отказа от систем отопления и кондиционирования, снижения стоимости подключения к сетям.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЛИЯНИЯ ПАВ НА ВКЛЮЧЕНИЕ ПРИМЕСЕЙ В КАТОДНЫЙ ОСАДОК МЕДИ

*Плотников А.С., Гаева Н.М., Останин Н.И.*

*УрФУ, г. Екатеринбург*

*e-mail: el-chem@mail.ustu.ru*

Электроосаждению катодных осадков с минимальным содержанием примесей при электрорафинировании металлов способствует введение в электролит анионоактивных поверхностно-активных добавок [1, 2]. Присутствие их в электролите, препятствует включению дисперсных частиц шлама в катоды. Одной из причин этого явления может быть выравнивающая способность электролитов. В электролитах с высокой микрорассеивающей способностью может происходить осаждение металла под дисперсную частицу.

В работе исследовано влияние сульфатсодержащих производных углеводов (алкилсульфата натрия, пенообразователя ПО-6К, смачивателя НБ и суперпластификатора С-3) на микрорассеивающую способность кислого сульфатного электролита.

Микрорассеивающую способность (МРС) электролитов с различными комбинациями ПАВ изучали на образцах с регулярным профилем, изготовленных из виниловой грампластинки и предварительно покрытых слоем меди 20 мкм из электролита меднения с блескообразующей добавкой RV. До и после электроосаждения меди из исследуемого электролита записывали профилограммы поверхности образцов. При обработке профилограмм в пакете прикладных программ Excel получали характеристики профиля – среднюю глубину канавок и угол, образованный сторонами канавок, которые использовали для оценки микрорассеивающей способности электролита. Результаты обработки профилограмм сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Микрорассеивающая способность кислого сульфатного электролита  
с различными комбинациями ПАВ

Комбинация ПАВ	Концентрация ПАВ, мг/л	Средняя МРС	Стандартное отклонение МРС
Без добавок	-	20,7	0,6
СГ	40	20,1	0,5
ТМ+Ж	5/5	44,9	3,3
ТМ+Ж+ СГ	5/5/40	50,6	2,2
ТМ+Ж+ СГ+АС	5/5/40/5	34,1	1,2
ТМ+Ж+ СГ+ПО-6К	5/5/40/5	30,4	0,4
ТМ+Ж+ СГ+НБ	5/5/40/5	62,7	1,8
ТМ+Ж+ СГ+С-3	5/5/40/5	26,3	0,3

Таблица 2

Углы микропрофиля до ( $\beta_0$ ) и после ( $\beta$ ) нанесения слоя меди из электролита с разными комбинациями ПАВ

Комбинация ПАВ	Концентрация ПАВ, мг/л	Серия 1			Серия 2			Средняя $\Delta\beta$
		$\beta_0$	$\beta$	$\Delta\beta^*$	$\beta_0$	$\beta$	$\Delta\beta^*$	
Без добавок	-	123	128	5	116	125	9	7
СГ	40	123	124	1	127	133	6	4
ТМ+Ж	5/5	123	148	26	134	159	25	25
ТМ+Ж+ СГ	5/5/40	124	156	32	124	162	34	33
ТМ+Ж+ СГ+АС	5/5/40/5	127	148	21	123	150	28	24
ТМ+Ж+ СГ+ПО-6К	5/5/40/5	116	148	32	127	149	21	27
ТМ+Ж+ СГ+НБ	5/5/40/5	126	164	37	128	164	36	36
ТМ+Ж+ СГ+С-3	5/5/40/5	124	138	14	124	143	19	17

\*)  $\Delta\beta = \beta - \beta_0$

На основании экспериментальных данных (табл. 1) можно заключить, что кислый сульфатный электролит электроаффинирования меди обладает выравнивающей способностью даже в отсутствии поверхностно-активных добавок. Введение в электролит ионов СГ несколько снижает величину МРС сульфатного электролита. В тоже время, наличие в электролите комбинации ПАВ – желатин и тиомочевина – более чем в два раза увеличивает МРС электролита. Еще более повышает выравнивающую способность добавление в электролит желатина и тиомочевины совместно с хлорид ионами. Поскольку данная комбинация добавок используется в товарных ваннах электроаффинирования меди, то влияние исследуемых анионоактивных поверхностно-активных веществ на МРС оценивали, сравнивая с выравнивающей способностью этого электролита.

Увеличение выравнивающей способности электролита наблюдается при введении в электролит, содержащий традиционную комбинацию ПАВ, смачивателя НБ. В ряду алкилсульфат натрия, пенообразователь ПО-6К, смачиватель НБ активное вещество последнего - алкилнафталинсульфат натрия - обладает наибольшей адсорбционной способностью, благодаря наличию ароматического нафталинового кольца. С чем связано уменьшение выравнивающей способности электролита при добавлении алкилсульфата натрия, пенообразователя ПО-6К и суперпластификатора С-3 не вполне понятно, и требует дальнейшего изучения. При исследовании влияния этих веществ на зарабатывание частиц анодного шлама в катодный осадок меди установлен факт ингибирования процесса соосаждения. По-видимому, механизм ингибирования в данном случае не связан с микровыравнивающей способностью электролита.

При нанесении слоя меди из кислого сульфатного электролита происходит истинное выравнивание микропрофиля поверхности. Об этом свидетельствует увеличение угла, образованного сторонами микропрофиля (табл. 2). Закономерности влияния различных комбинаций ПАВ на выравнивающую способность электролита остались такие же, как случае определения МРС.

Таким образом, положительное влияние смачивателя НБ на снижение зарабатывания частиц анодного шлама в катодную медь можно объяснить увеличением выравнивающей способности электролита. Введение в электролит ПАВ, препятствующих включению частиц анодного шлама, позволит повысить качество катодной меди и снизить энергозатраты на электрорафинирование меди.

#### *Библиографический список*

1. Rudoi V.M., Ostanin N.I., Zaikov Yu.P., Demin I.P., Ashikhin V.V. New approach to select SAS for copper electrolytic refining // Proceedings of European Metallurgical Conferences - EMC 2005, 18-21 September 2005. Dresden, Germany. V. I. P. 153-164.
2. Сайфуллин Р.С. Комбинированные электрохимические покрытия и материалы. М.: Химия, 1972. С. 32–47.

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСПЕРЕБОЙНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ПУСКЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Плотников И.Г., Абрамович Б.Н.*

*Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова  
(технический университет)*

*plotnikov\_igor86@mail.ru*

При пуске высоковольтных синхронных электродвигателей кустовых насосных станций (КНС) системы поддержания пластового давления, нефтегазодобывающие предприятия часто сталкиваются с проблемой недопустимой потери напряжения на подстанциях (шины 6 кВ).

Потребляемые электродвигателями в момент их запуска большие пусковые токи, и связанные с этим глубокие провалы напряжения очень усложняют, а в ряде случаев (например, большая удаленность пускаемого электродвигателя от головного источника питания) делают невозможным пуск в работу двигателей без останова других потребителей по причине срабатывания устройств релейной защиты.

При эксплуатации месторождений, содержащих трудноизвлекаемые запасы нефти, особое значение приобретает безостановочная добыча нефти. При добыче вязких нефтей освоение скважин после простоя становится очень сложной задачей. Нефть в призабойной зоне пласта успевает восстановить свою первоначальную внутреннюю структуру и увеличить эффективную вязкость за время простоя насосного оборудования.

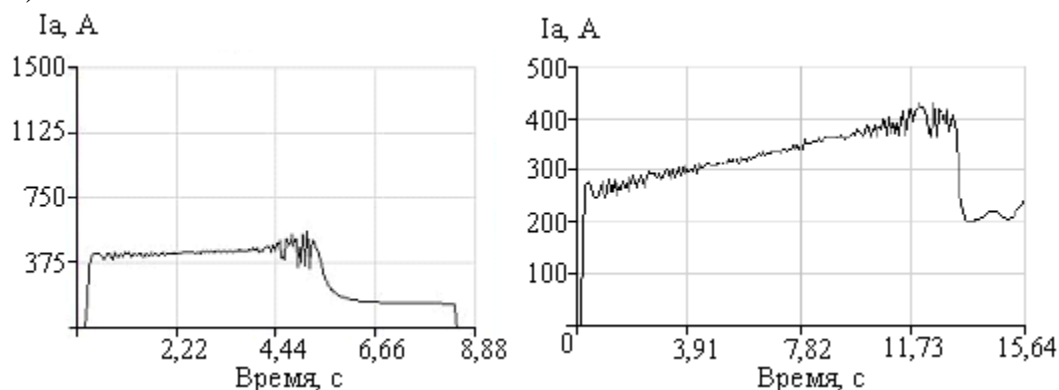
Неблагоприятно сказываются броски пускового тока на питающую сеть, приводя к недопустимым по нормам ГОСТ 13109-97 [1] провалам напряжения, что отрицательно сказывается на устойчивости работы других потребителей. Нарушается нормальное течение технологических процессов. Также становится невозможным массовый самозапуск электродвигателей после восстановления напряжения на источниках питания.

Согласно строительным нормам СН 174-75, остаточное напряжение на шинах 6 кВ при пуске электродвигателей должно составлять не менее 75 % [2]. Остаточное напряжение на шинах 6 кВ при пуске высоковольтных синхронных

двигателей КНС в некоторых случаях составляет 70 % и менее, что недопустимо.

Одним из эффективных решений данной проблемы в условиях нефтепромыслов является применение устройств плавного пуска, которые должны обеспечивать:

1. Запуск двигателей в условиях предприятий с дефицитом мощности;
2. Гибкое управление режимами работы электродвигателей в соответствии с технологической необходимостью потребления рабочей жидкости;
3. Формирование заданных пусковых характеристик электродвигателей (рисунок).



Графики пуска СТД-1600

Способ пуска высоковольтных синхронных электродвигателей может быть выбран по результатам сопоставительного анализа вариантов, исходя из условий технологического процесса и состояния электрических сетей предприятия (таблица).

Технические параметры пуска электродвигателя

Отрицательные факторы запуска синхронных электродвигателей большой мощности	Прямой пуск	Частотный пуск	Тиристорный пуск	Автотрансформаторный и реакторный пуск
1. Первоначальная ударная нагрузка на обмотки синхронных электродвигателей	5 $I_n$	1-1,5 $I_n$	2,5-4 $I_n$	2,5-4 $I_n$
2. Первоначальная ударная нагрузка на муфту и вал привода	2,5 $P_n$	$P_n$	1,25 $P_n$	2 $P_n$
3. Длительность действия пусковых токов, с	6-8	-	9-10	7-9

Применение устройств плавного пуска дает возможность запуска электродвигателей большой единичной мощности в сетях ограниченной мощности от газотурбинных и газопоршневых электростанций. В настоящее время применяется три тиристорных устройства плавного пуска на электродвигатели СТД мощностью 1600 кВт Русскинского месторождения. Базовыми элементами таких систем являются тиристорные преобразователи, в которых используется фазовый принцип управления. В каждой из трех фаз преобразователя использу-



ется встречно-параллельное включение тиристоров. Как показали результаты экспериментальных исследований, на Русскинском месторождении ОАО «Сургутнефтегаз» не произошло ни одного опасного провала напряжения при пуске насосных агрегатов КНС.

#### *Библиографический список*

1. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Изд-во стандартов, 1998.
2. СН 174-75 Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий. М.: Изд-во стандартов, 1975.

### **ВЛИЯНИЕ РАСХОДНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ФРАКЦИНИРОВАНИЯ ПОРОШКОВ В КАСКАДНОМ АППАРАТЕ С ТРЕУГОЛЬНЫМИ ПОЛКАМИ**

*Пономарев В.Б., Пономарева А.В.*

*УрФУ*

*amar@r66.ru*

Во многих отраслях промышленности, связанных с переработкой сыпучих материалов, необходимо обеспечить получение продуктов с определенным гранулометрическим составом. Для разделения порошков по крупности 0,1...5,0 мм наиболее универсальным и эффективным способом является воздушная классификация. Расчеты продуктов воздушной классификации, основанные на постоянном значении функции фракционного извлечения для одиночного каскада, дают грубое приближение и не отражают реальный характер процесса фракционирования сыпучих материалов.

Из обработки экспериментальных данных замечено, что зависимость границы разделения от скорости воздушного потока описывается квадратичными уравнениями. На рис. 1 показана такая зависимость для каскадного классификатора с треугольными полками.

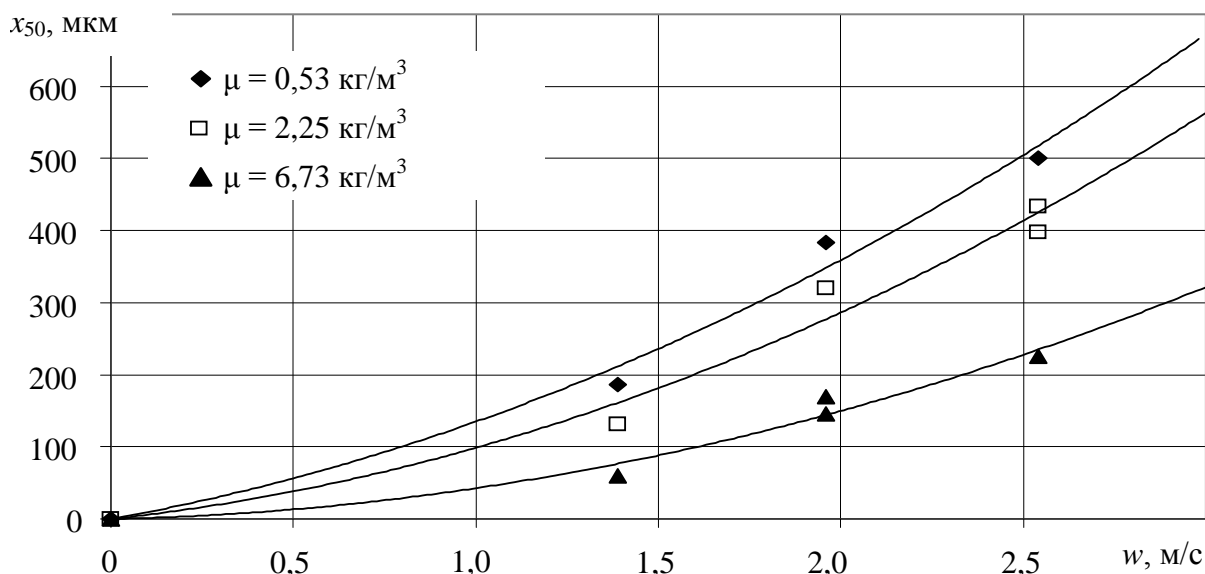


Рис. 1. Зависимость границы разделения от скорости воздушного потока на классификаторе с треугольными полками

Данная квадратичная закономерность легко вытекает из условия равновесия силы тяжести  $F_m = mg$ , силы Архимеда  $F_A$  и силы аэродинамического сопротивления  $F_c = \zeta S \frac{(w-u)^2 \rho}{2}$ , действующих на частицу в аппарате. Для шарообразной частицы масса  $m = \frac{\pi d^3}{6} \rho_q$ , площадь поперечного сечения частицы  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ . Тогда из условия равновесия сил

$$\frac{\pi d^3 g (\rho_q - \rho)}{6} = \frac{\zeta \pi d^2 (w-u)^2 \rho}{8}, \quad (1)$$

откуда

$$d = \frac{3\zeta (w-u)^2 \rho}{4g (\rho_q - \rho)} \text{ или } d = f(w^2) \quad (2)$$

Известно, что на характер зависимости  $x_{50} = f(\mu)$  влияют кроме конкретной конструкции аппарата такие параметры, как скорость газового потока, плотность частиц и плотность газа. Для того, чтобы получить однозначную зависимость границы разделения от концентрации, можно использовать обобщенный параметр классификации для частицы

$$B = \frac{(\rho_q - \rho)}{\rho} \frac{gd}{w^2}, \quad (3)$$

здесь в качестве размера частицы принята граница разделения,  $d = x_{50}$ .

На рис. 2 представлена зависимость обобщенного параметра классификации от расходной концентрации.

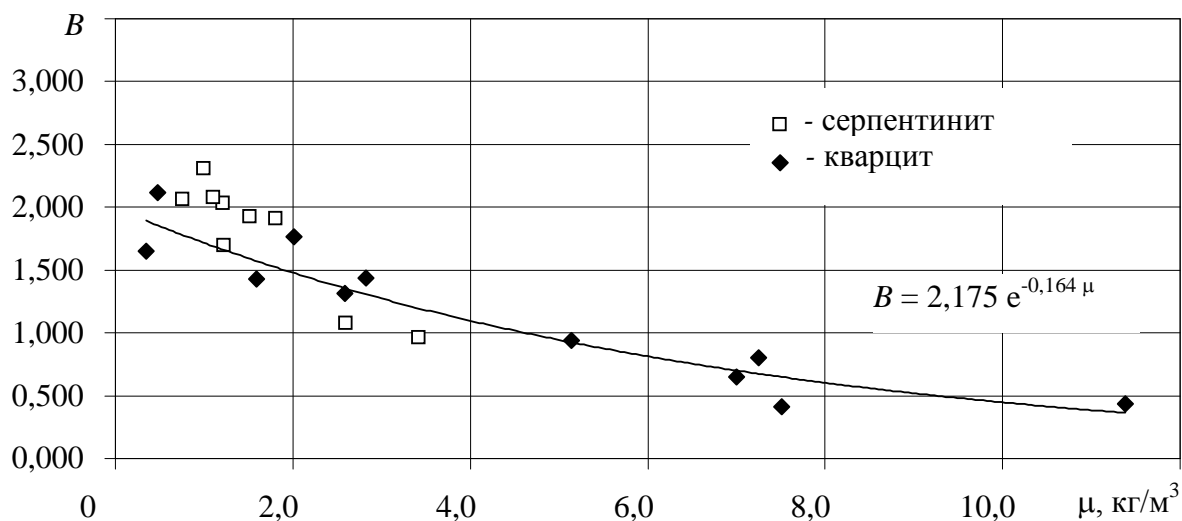


Рис. 2. Зависимость обобщенного параметра от расходной концентрации на классификаторе с треугольными полками

Анализ зависимости эффективности разделения от расходной концентрации (рис. 3) показывает, что она имеет ступенчатый характер, имеется область автомодельности по концентрации и затем монотонное снижение ее.

Таким образом, для конкретной конструкции пневматического классификатора зависимость эффективности и границы разделения от расходной концентрации можно описать зависимостями типа

$$k_{75/25} = a\mu^b, \quad x_{50} = \frac{c\mu^d w^2 \rho}{g(\rho_{\text{ч}} - \rho)}, \quad (4)$$

где коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  являются параметрами идентификации и зависят только от конструкции аппарата.

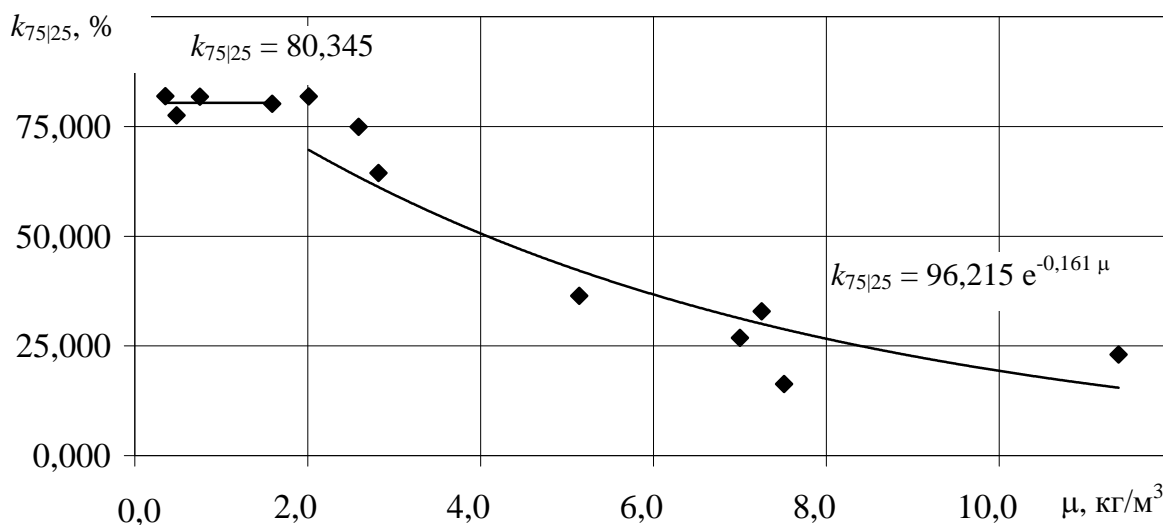


Рис. 3. Зависимость эффективности разделения кварцита от расходной концентрации на классификаторе с треугольными полками

Эти зависимости позволяют определить оптимальный с точки зрения энергоэффективности режим работы пневмокласификатора для разделения различных сыпучих материалов и являются основой для разработки математической модели последовательного каскада с учетом изменения концентрации материала по его элементам.

#### Условные обозначения

$x_{50}$  – граница разделения, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с²;

$w$  – средняя скорость движения воздуха, м/с;

$u$  – скорость движения частицы, м/с;  $\rho_{\text{ч}}$  – плотность твердых частиц, кг/м³;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м³;

$\mu$  – расходная концентрация, кг/м³;

$k_{75/25}$  – эффективность разделения по показателю Эдера-Майера,

$\zeta$  – коэффициент аэродинамического сопротивления частицы;

$S$  – площадь поперечного сечения частицы, м²;

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМА СУТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЗДАНИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА TRNSYS

*Ртищева А.С., Каишанов В.В., Прохоров А.В., Долгов А.С., Кочулимов А.*  
Ульяновский государственный технический университет  
E-mail: al.rtisheva@mail.ru

На сегодняшний день остро стоят вопросы энергосбережения. Это касается и тепловой энергии. При относительном удешевлении компьютерной техники и средств автоматизации на современном этапе есть возможность внедрения автоматизированных систем регулирования теплоснабжения. С помощью АСУТП есть возможность реализовывать, так называемое, суточное регулирование (особенно в общественных и административных зданиях), т.е. снижать температуру внутреннего воздуха в здании в ночное время. Таким образом, целью работы было исследование потребления тепловой энергии и режима работы АСУТП для обеспечения суточного регулирования теплоснабжения на основе модели, созданной в программном пакете TRNSYS v.1.6, а также исследование экономической эффективности внедрения суточного регулирования.

В соответствии с поставленной задачей в программе TRNSYS было смоделировано здание с несколькими тепловыми зонами и выбраны погодные условия, максимально приближенные к погодным условиям города Ульяновска. Энергия (тепловая мощность), необходимая для поддержания температуры  $20^{\circ}\text{C}$  в холодный период года в помещении здания, представлена на рис. 1 (ниже нуля и измеряется в кДж/ч). На рис. 2 представлен более подробный график необходимой тепловой мощности за один месяц (январь).

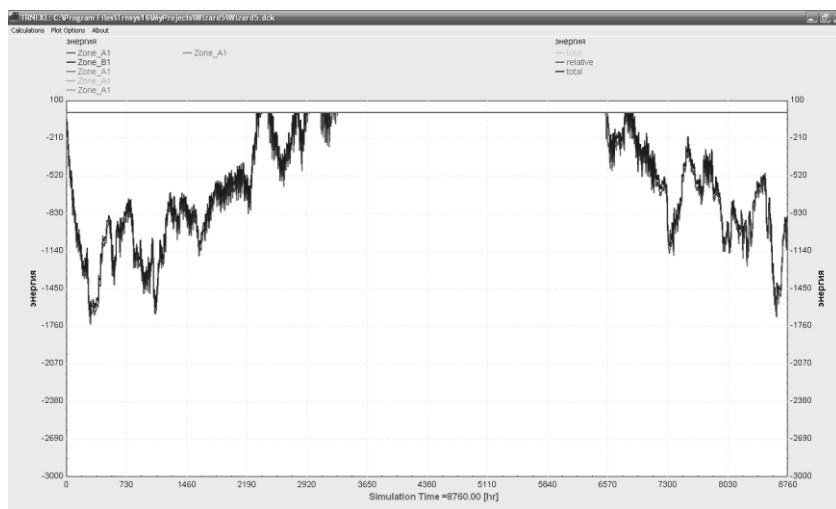


Рис. 1. Тепловая мощность системы отопления, рассчитанная программой TRNSYS, необходимая для поддержания заданного теплового состояния в помещении

При исследовании суточного регулирования, задавалось снижение температуры внутреннего воздуха во всем здании до  $16^{\circ}\text{C}$  с восьми часов вечера до пяти часов утра ежедневно. При этом графики тепловой мощности системы отопления, необходимые для реализации заданного теплового режима представлены на рис. 3 и 4.

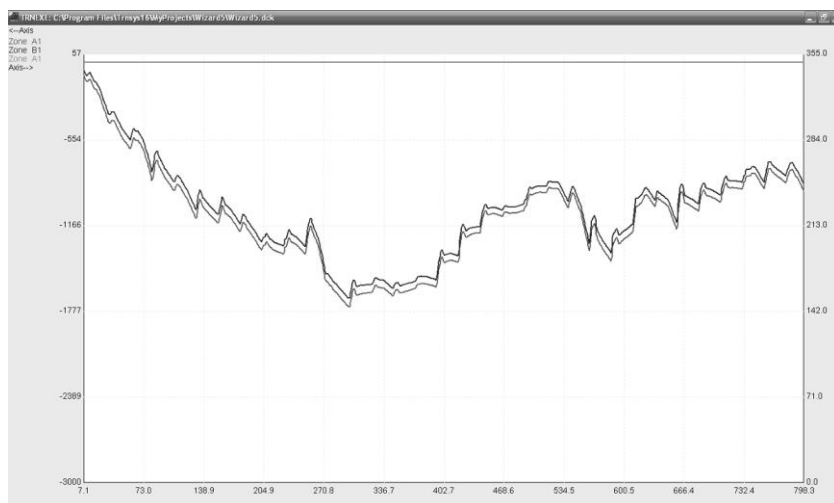


Рис. 2. Тепловая мощность системы отопления, представленная за один месяц (январь)

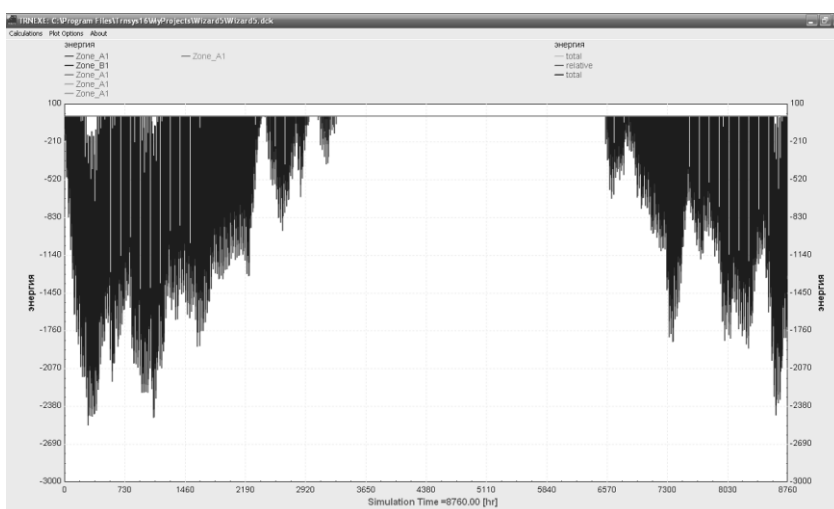


Рис. 3. Тепловая мощность системы отопления, рассчитанная программой TRNSYS, необходимая для поддержания заданного теплового состояния в помещении

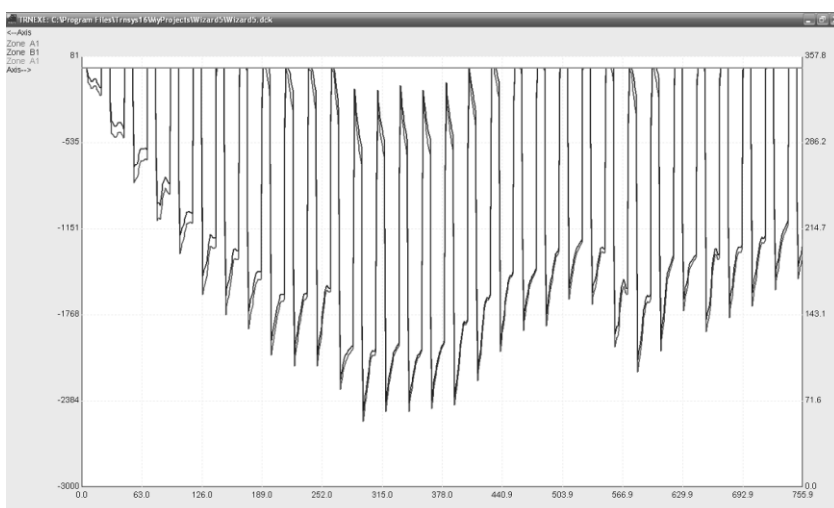


Рис.4. Тепловая мощность системы отопления, представленная за один месяц (январь)

Из полученных данных видно, что снижение температуры и потребляемой энергии в ночное время приводит к увеличению потребления энергии в дневное время. Эта энергия необходима для прогрева здания до необходимой температуры ( $20^{\circ}\text{C}$ ) в утренние часы.

Сравнение графиков (рис. 3 и 6, а также 2 и 5) показывает, что экономия тепловой энергии за счет суточного регулирования составляет около 3,5–5 %. Обычно для общественных и административных зданий подобный экономический эффект измеряется десятками тысяч руб. за один отопительный сезон. Поэтому возможностями суточного регулирования нельзя пренебрегать в соответствии с последними тенденциями энергосбережения.

#### *Библиографический список*

1. Ртищева А.С., Дубровский Д.Р., Кашланов В.В., Матрехин А.В. Моделирование теплового состояния здания с помощью программного пакета TRNSYS // Стройкомплекс Среднего Урала. 2009. № 1-2. С. 44-46.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЗДАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЗДАНИЯ ГЛАВНОГО КОРПУСА УЛГТУ**

*Ртищева А. С., Тимерзанова А.М.*

*Ульяновский государственный технический университет*

*E-mail: a.rtisheva@ulstu.ru*

Определение тепловых потерь здания, необходимо для эффективного внедрения энергосберегающих технологий. Задачей исследования было определение, какая часть энергии, расходуемой на отопление здания (в качестве примера было рассмотрено здание главного учебного корпуса УлГТУ), приходится на тепловые потери теплопередачи ограждающих конструкций, а какая часть приходится на тепловые потери через неплотности и дефекты ограждающих конструкций (т.е. на инфильтрацию). Для исследования были использованы данные с теплосетчика, установленного в здании. Тепловые потери теплопередачи через ограждающие конструкции рассчитывались по формулам:

$$Q = k(t_{\text{внутр}} - t_{\text{наруж}})F, \quad (1)$$

$$kF = k_{\text{стен}}F_{\text{стен}} + k_{\text{окон}}F_{\text{окон}} + k_{\text{двер}}F_{\text{двер}}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций здания;  $t_{\text{внутр}}$  – температура внутреннего воздуха;  $t_{\text{наруж}}$  – температура наружного воздуха;  $F$  – площадь ограждающих конструкций.

$$k_{\text{стен}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{внутр}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{наруж}}}}. \quad (3)$$

Аналогично через коэффициенты теплоотдачи рассчитывался коэффициент теплопередачи для дверных проемов. Для окон использовалась формула:

$$k_{\text{окон}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{внутр}}} + \frac{2\delta_{\text{стекла}}}{\lambda_{\text{стекла}}} + \frac{\delta}{\varepsilon_{\text{к}} \lambda_{\text{возд}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{наруж}}}}, \quad (4)$$

где  $\delta_{\text{стекла}}$  – толщина стекла, обычно она составляет 0,003...0,004 м;  $\lambda_{\text{стекла}}$  – коэффициент теплопроводности стекла, равный 0,74 Вт/(м·К);  $\delta$  – расстояние между стеклами в раме;  $\varepsilon_{\text{к}}$  – коэффициент конвекции;  $\lambda_{\text{возд}}$  – коэффициент теплопроводности воздуха.

Для расчета коэффициентов теплоотдачи использовались уравнения подобия. При этом для расчета был собран архив погодных данных по температурам, скорости и направлениям ветра.

На рис.1 представлены график зависимости энергии, расходуемой на отопление от времени (она принималась равная общим тепловым потерям, идущим на теплопередачу через ограждающие конструкции и инфильтрацию), и график зависимости энергии, полученный в результате расчета тепловых потерь через ограждающие конструкции по средствам теплопередачи.

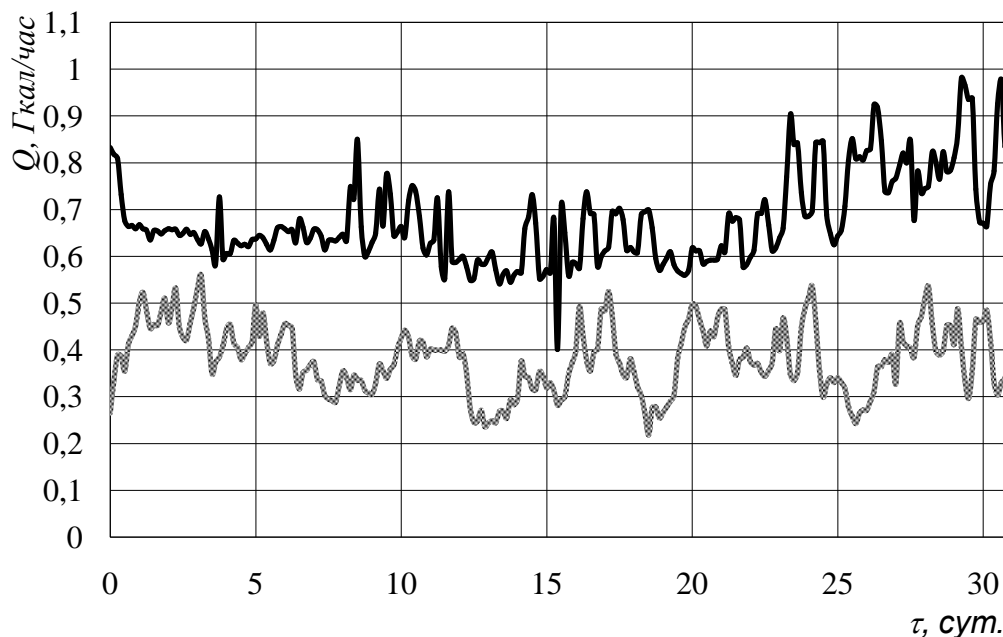


Рис. 1. Энергия, расходуемая на отопление – верхняя кривая, и энергия, представляющая собой тепловые потери через ограждающие конструкции по средствам теплопередачи, – нижняя кривая в зависимости от времени.

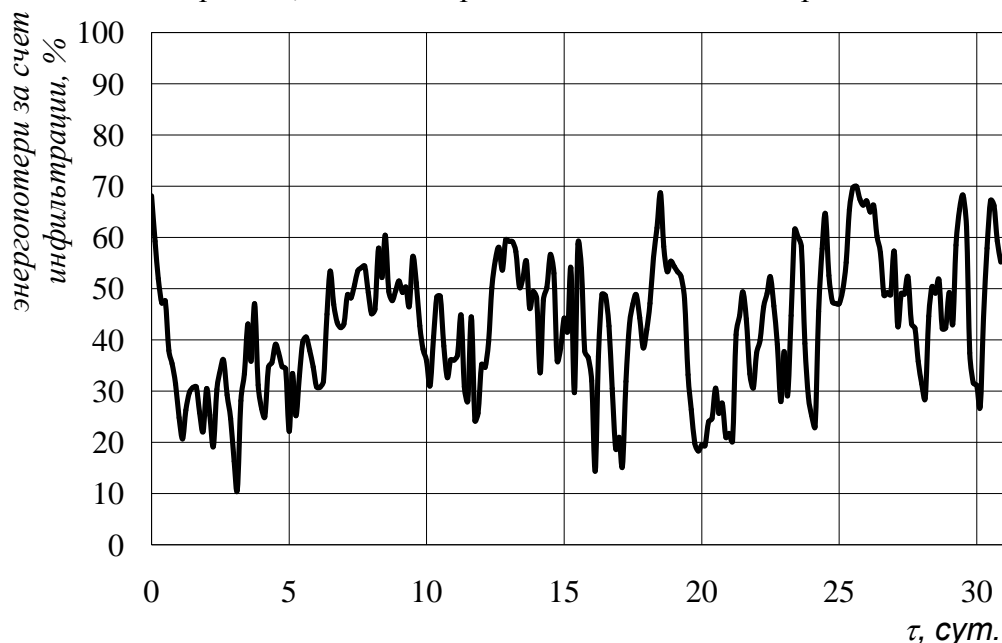


Рис. 2. Процентное отношение тепловых потерь на инфильтрацию к общим тепловым потерям

Таким образом, результаты расчета показали, что в среднем порядка 40 % тепловой энергии, расходуемой на отопление, идет на тепловые потери на инфильтрацию через неплотности и дефекты ограждающих конструкций. Это согласуется с данными исследований Технологического института энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО» нарушение норм энергопотерь при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий приводит к потере до 40 % энергии, расходуемой на их отопление.

#### *Библиографический список*

1. Ртищева А.С. Моделирование теплового режима и оптимизация теплопотребления здания высшего учебного заведения // Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в энергомашиностроении: Труды V Школы-семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН В.Е. Алемасова, 3-9 сентября. Казань, 2006. С. 247-250.

### **К ВОПРОСУ О КОНТРОЛЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРОЛЕТНОГО ПАРА В КОНДЕНСАТОПРОВОДАХ**

*Самсонов Д.А.*

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

*E-mail: jarevenant@yandex.ru*

Теплообменные аппараты с паровым обогревом находят широкое применение в промышленности. Пар в таких теплообменниках используется как греющий теплоноситель и должен полностью сконденсироваться на поверхностях теплообмена. Далее через сопло конденсатоотводчика образовавшийся конденсат попадает в конденсатопровод и возвращается на ТЭЦ. В процессе эксплуатации запирающий элемент конденсатоотводчика подвергается интенсивному эрозионному износу паром и частицами механических загрязнений, и, как следствие, высокотемпературный пар начинает беспрепятственно уходить из теплообменника в конденсатопровод.

Таким образом, многие предприятия нуждаются в простом и надежном способе определения массового содержания пролетного пара за конденсатоотводящим устройством.

Существует возможность использования для этой цели методики, основанной на разнице коэффициентов теплоотдачи пара и конденсата к стенкам необогреваемой трубы. Так как большинство конденсатоотводчиков являются устройствами периодического действия, то конденсатопровод попеременно подвергается нагреву (пролетным паром) и относительному охлаждению (конденсатом, совместно с паром вторичного вскипания). Периоды нагрева и охлаждения сменяют друг друга с довольно высокой частотой, порядка 1 Гц (согласно данным наблюдений за конденсатоотводчиками, проведенным в электромеханическом цехе ОАО ГАЗ). Таким образом, можно говорить об установившейся во времени средней температуре стенки трубы. Жидкая фаза, текущая по стенкам канала, срывается идущим следом пролетным паром. Отсюда следует, что для вычислений необходимо использовать коэффициенты теплоотдачи каждой фазы по отдельности, а не смеси. Необходимо также отметить, что замеры температуры стенки трубы нужно производить на ее боковой образующей [1]. Большое влияние на процесс теплоотдачи конденсата и пара к



стенкам канала оказывает пограничный слой жидкости, безразмерная толщина которого сохраняется значительной даже при числах Рейнольдса около  $10^5$ . По этой причине точку для измерения температуры стенки трубы необходимо выбирать в диапазоне расстояний от конденсатоотводчика порядка  $l = 5 \div 10d$ , для наиболее полного использования турбулизирующего воздействия резкого изменения сечения канала.

В распространенной литературе (например, [2]) зачастую приводятся номограммы теплоотдачи различных сред в мелком масштабе и не всегда удобном диапазоне параметров. В связи с этим, остро стоит вопрос о разработке уточненных номограмм теплоотдачи пара и горячей воды к стенкам каналов. Масштаб таких номограмм должен быть как можно более крупным.

#### *Библиографический список*

1. Шварц А.Л. Температурный режим теплопередающей поверхности паро-паровых теплообменников при охлаждении и конденсации греющего пара и нагреве влажного пара / А.Л. Шварц, В.А. Локшин, Г.Г. Горланов, В.Н. Гребенников // Теплоэнергетика. 1990. № 6. С. 53–58.
2. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод) / под ред. Г. М. Кагана. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.

### **ВЫБОР СТРУКТУРЫ, ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И МЕСТА РАЗМЕЩЕНИЯ АКТИВНЫХ СИСТЕМ КОРРЕКЦИИ ФОРМЫ КРИВЫХ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ НЕФТЕПРОМЫСЛОВ**

*Сычев Ю.А.*

*Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова  
(технический университет)*

*Sychev\_yura@mail.ru*

Результаты многочисленных экспериментальных исследований в промышленных распределительных электрических сетях ОАО «Оренбургнефть» и ООО «РН-Юганскнефтегаз» показали несоответствие уровня качества электрической энергии в области искажения синусоидальности формы кривых тока и напряжения нормам отечественных и международных стандартов из-за интенсивного внедрения нелинейной нагрузки в виде различного типа преобразователей частоты. Негативные последствия наличия высших гармоник тока и напряжения, генерируемых нелинейной нагрузкой в виде сокращения срока службы основного электрооборудования и ложного срабатывания систем релейной защиты и электросетевой автоматики приводят к увеличению потерь добычи нефти. При этом отечественной и международной практикой показано, что наиболее современным и перспективным техническим средством компенсации высших гармоник в электрических сетях с интенсивным распространением нелинейной нагрузки являются активные системы коррекции формы кривых тока и напряжения на основе параллельных активных фильтров (ПАФ).

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований в распределительных электрических сетях нефтепромыслов разработана методика выбора структуры, основных параметров, режима работы и места

подключения ПАФ для приведения уровня качества электрической энергии в соответствие с нормами отечественных и международных стандартов. Выбор и установка ПАФ в сетях нефтепромыслов проводится в соответствии со следующими этапами:

- в выбранном месте для подключения ПАФ должен отсутствовать резонанс на частотах канонических высших гармоник;
- при наличии в компенсируемой сети нефтепромысла конденсаторных установок и пассивных фильтрокомпенсирующих устройств в состав ПАФ должен быть включен активно-емкостный, активно-индуктивный или индуктивно-емкостный фильтр, параметры которого выбираются по критерию отсутствия резонансных явлений на частотах канонических высших гармоник;
- номинальный ток ПАФ должен рассчитываться по различным формулам в зависимости от наличия информации о режиме работы и параметрах компенсируемой нелинейной нагрузки;
- в выбранном месте для установки ПАФ величина соотношения активных мощностей нелинейной и полной нагрузки должна находиться в диапазоне от 0,4 до 0,8 при двукратном увеличении реактивного сопротивления сети при возникновении аварийных режимов.

Разработанная методика прошла успешное и эффективное апробирование в электрических сетях Приобского месторождения ООО «РН-Юганскнефтегаз». В таблице приведены данные по эффективности установленных активных систем коррекции формы кривых тока и напряжения на основе ПАФ в сетях 0,4 кВ Приобского месторождения ООО «РН-Юганскнефтегаз» ( $k_U$  – коэффициент искажения синусоидальности формы кривой напряжения,  $k_I$  – коэффициент искажения синусоидальности формы кривой тока).

Данные по эффективности установки активных систем коррекции формы кривых тока и напряжения на основе ПАФ в сетях Приобского месторождения

№ скважины	$k_U$ , % до установки ПАФ	$k_U$ , % после установки ПАФ	$k_I$ , % до установки ПАФ	$k_I$ , % после установки ПАФ
7791	14,3	4,0	33,4	6,9
8365	12,1	4,3	34,8	8,8
7820	8,7	5,8	25,0	7,1
8263			44,7	13,3
7819	9,2	6,4	45,2	14,0
8824	9,4	6,0	34,3	8,6
8852	10,7	7,7	27,4	11,3
8818	12,1	5,4	37,2	7,5
8820			33,7	9,4
8392	8,7	2,9	35,8	5,9

Данные таблицы доказывают эффективность компенсации высших гармоник тока и напряжения активными системами коррекции на основе ПАФ. Величина  $k_U$  после применения ПАФ не превышает норму ГОСТ 13109-97, составляющую 8 % для электрических сетей 0,4 кВ. Величина  $k_I$  после применения ПАФ также значительно снижается.

## ПРИМЕНЕНИЕ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ И ОСУШКИ ВОЗДУХА ПРИ ОЗОНИРОВАНИИ ВОДЫ

*Тихонов А.Н., Морозов А.П.  
Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г. И. Носова*

Актуальной проблемой является обеспечение населения качественной питьевой водой. Озонирование рассматривается [1,2] как наиболее эффективный способ обеззараживания воды. В технологической схеме получение озона из воздуха важного значения имеет [3] система подготовки озонобразующего газа. Анализ показал [4], что для эффективного получения озона необходимо снижать температуру и влажность воздуха в разрядном промежутке озонатора. В традиционных схемах для охлаждения компримированного воздуха используются [5] поверхностные теплообменники, а для его осушки – адсорбционные или холодильные установки. Недостатками существующих схем подготовки воздуха является значительный расход охлаждающей воды и повышенные массогабаритные показатели.

На кафедре «Теплотехнических и энергетических систем» МГТУ разработаны предложения [4] по использованию вихревых труб в озонаторных установках. Вихревой эффект (эффект Ранка-Хилша) заключается [6,7] в снижении температуры приосевых слоев закрученного высокоскоростного потока газа за счет передачи тепла периферийным слоям. Разработана конструкция вихревой трубы, представленной на рис. 1.

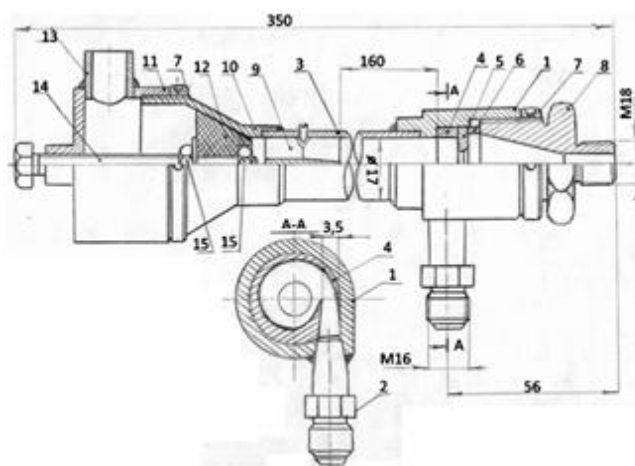


Рис. 1

Труба состоит из корпуса 1, в кольцевой полости которого пропилен тангенциальный прямоугольный канал шириной  $b$  и высотой  $h$ . С внешней стороны канала к корпусу припаян штуцер 2 для подвода сжатого воздуха. В кольцевой полости корпуса запаивается трубка 3 с цилиндрической полированной внутренней поверхностью. С другой стороны, корпуса устанавливается улитка 4, так, что ее пропил совпадает с каналом и образует сопловой вход. Внутренняя поверхность улитки строится по спирали Архимеда с минимальным радиусом, равным внутреннему радиусу трубы 3, и тщательно полируется. В эту же

полость корпуса устанавливается диафрагма 5 с центральным круглым отверстием  $D_d = 9$  мм и герметизирующая прокладка 6, поджимаемая гайками 7 и 8. В противоположном конце трубки 3 на расстоянии  $L = 160$  мм плотно устанавливается четырехлопастная крестовина 9, закрепляемая винтом, и дроссель. Дроссель состоит из диффузора 10, припаянного к трубке 3, стакана 11, закрепленного на диффузоре установочной гайкой 7. Конусообразный дроссель 12 укрепляется на конце болта 14, с помощью гайки 15. К стакану припаивается трубка 13, для отвода горячего потока. Во избежание перетекания сжатого газа боковые поверхности улитки 4, корпуса 1, диафрагмы 5 плотно подгоняются.

Вихревая труба работает следующим образом. Сжатый воздух, расширяясь в сопле, разгоняется, как правило, до скорости звука и интенсивно закручивается. При этом в рабочем объеме трубы формируется высокоскоростной вихревой поток, в котором за счет градиента давления, а также интенсивной турбулизации, и возникает эффект температурного разделения. Приосевые охлажденные слои закрученного газа отводятся через отверстие в диафрагме (холодный поток), а в противоположном направлении в виде горячего потока отводится периферийная (подогретая) часть вихря.

Интенсивная закрутка газа позволяет не только генерировать холод, но за счет мощных центробежных сил дает также возможность эффективно отделять образующуюся в трубе за счет низкой статической (скоростной) температуры капельную жидкость, обеспечивая тем самым дополнительный технологический эффект очистки и осушки газа.

На рис. 2 представлены экспериментальные характеристики вихревой трубы в виде зависимости снижения температуры воздуха  $\Delta t_x = t_c - t_x$  от его удельного расхода  $\mu = G_x / G_c$ ; где  $t_c$ ,  $t_x$  и  $G_c$ ,  $G_x$  – соответственно температуры и расходы воздуха на входе в трубу и на холодном патрубке (при температуре входного воздуха  $t_x = 16$  °С, давлении холодного потока  $P_x = 0,1$  МПа и  $G_c = 11,4 - 17,2$  г/с).

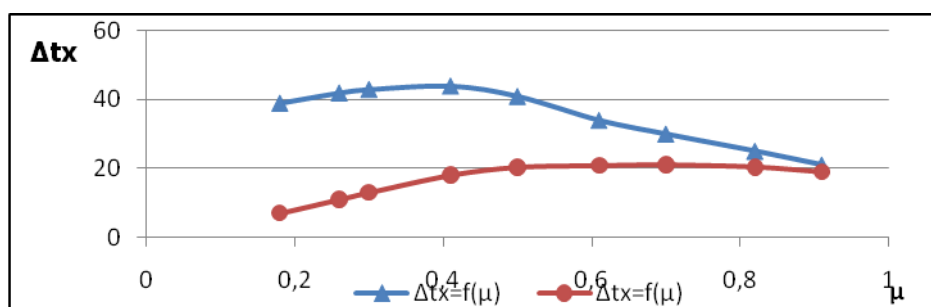


Рис. 2

Анализ полученных данных [8] для двух значений давления воздуха перед трубой  $P_c$  (МПа): ● - 0,4; Δ - 0,5, показывает, что вихревая труба позволяет снижать температуру холодного потока до -30 °С при  $P_c = 0,5$  МПа. Для создания максимальной холодопроизводительности доля холодного потока должна находиться в пределах  $0,6 \leq \mu \leq 0,9$ . С учётом предварительного отделение влаги после компрессора возможно получение осушенного воздуха до точки росы - 60 °С и ниже, что обеспечивает эффективную работу озонатора.

На основе проведенных исследований предложена технологическая схема получения и использования озона с применением вихревой трубы, представленная на рис. 3.

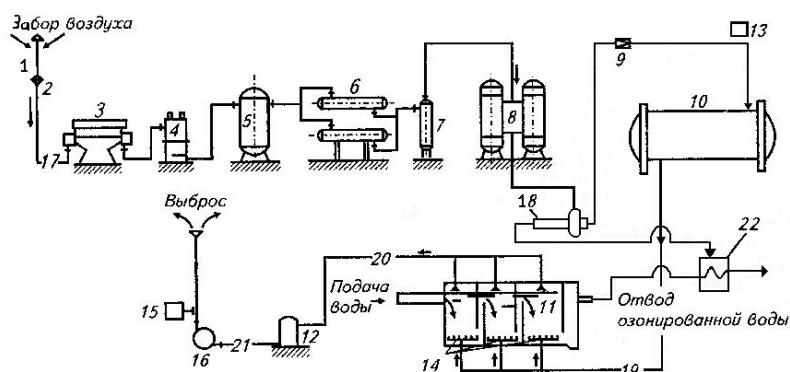


Рис. 3

1 – глушитель; 2 – воздушный фильтр; 3 – компрессор; 4 – концевой холодильник; 5 – воздухоохладитель; 6 – теплообменник; 7 – влагоотделитель; 8 – блок осушения воздуха; 9 – регулятор давления; 10 – генератор озона; 11 – контактная камера; 12 – нейтрализатор озона; 13 – пост контроля загазованности; 14 – система диспергации; 15 – пост контроля выброса озона в атмосферу; 16 – вентилятор; 17 – атмосферный воздух; 18 – вихревая труба; 19 – озono-воздушная смесь; 20 – отработанная озono-воздушная смесь; 21 – озono-воздушная смесь после разложения; 22 – теплообменник с очищенной озонной водой

Таким образом, в работе обоснована эффективность применения вихревой трубы для охлаждения и осушки воздуха при озонировании воды. На лабораторной установке для озонирования воды достигнута концентрация озона в озono-воздушной смеси  $40 \text{ г/м}^3$ , при удельном расходе электроэнергии  $11,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг}$ . Дополнительный энергосберегающий эффект получен при утилизации тепла горячего потока с вихревой трубы на нагрев озонированной воды в теплообменнике 22 (рис. 3) в системах горячего водоснабжения.

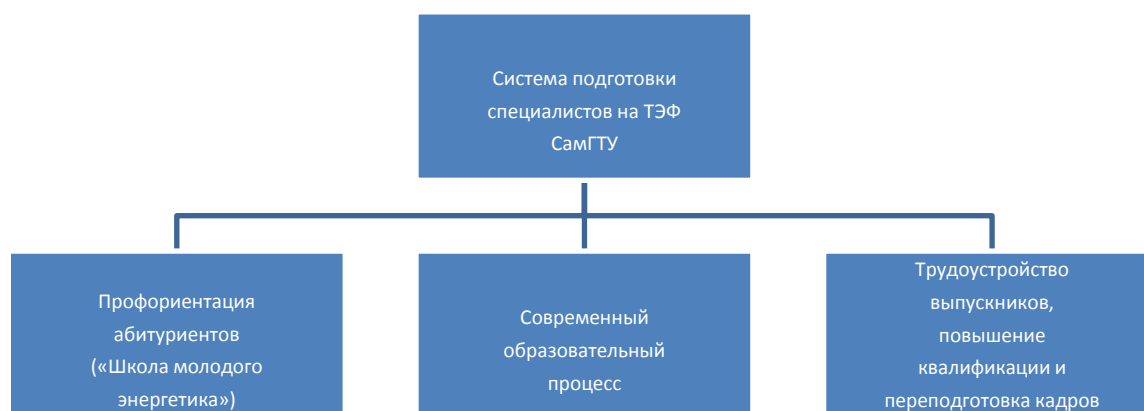
### Библиографический список

1. Кожин В.Ф. Озонирование воды. М.: Стройиздат, 1973. 100 с.
2. Орлов В.А. Озонирование воды. М.: Стройиздат, 1984. 110 с.
3. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Самойлович В.Г. Озонирование в процессах очистки воды / Под ред. В.Л.Драгинского. М.: ДеЛи принт, 2007. 400 с.
4. Морозов А.П., Коптев А.П., Семкин И.Г. Энергетика и защита окружающей среды. Свойства и применение озона: Учебное пособие. Магнитогорск: МГТУ, 2002. 175 с.
5. Трубицына Г.Н., Морозов А.П. Энергосбережение при производстве и осушке сжатого воздуха. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. 58 с.
6. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение, 1969. 183 с.
7. Мартонов А.В., Бродянский В.М. Что такое вихревая труба? М.: Энергия, 1976. 152 с.
8. Тихонов А.Н., Морозов А.П. Исследование характеристик воздушной вихревой трубы / Энергетики и металлургии настоящему и будущему России: Материалы 11-й Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и специалистов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 91-95.

# ФОРМИРОВАНИЕ КАДРОВОГО РЕЗЕРВА ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ. РОЛЬ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

*Трубицын К.В., Елфимов С.В., Архипов П.А.  
Самарский государственный технический университет  
tef@samgtu.ru*

Сегодня усилия многих российских вузов направлены на повышение качества образовательных услуг, закономерным результатом которого должен стать выход из стен учебного заведения дипломированного специалиста высокой квалификации. Зачастую учебные заведения разрабатывают собственную стратегию развития кадров, в частности, своих студентов. Вопросы кадровой политики все больше волнуют заинтересованные в квалифицированных молодых кадрах стороны: вузы, организации (предприятия), государство. Не исключением является и Самарский государственный технический университет (далее – СамГТУ). Так, на теплоэнергетическом факультете (ТЭФ) данного вуза с 2009 года внедрена многоуровневая система подготовки специалистов, начиная с отбора лучших абитуриентов из ведущих школ города и заканчивая трудоустройством выпускников факультета на энергетические объекты различных отраслей промышленности России (рисунок).



Многоуровневая система подготовки специалистов на ТЭФ СамГТУ

Первый этап предусматривает выявление и отбор наиболее приспособленных к обучению на ТЭФ абитуриентов из различных школ, техникумов, лицеев и колледжей Самарской области. Отбор ведется путем анкетирования и личного общения представителей администрации факультета с абитуриентами. После охвата достаточного количества объектов среднего и средне-специального образования происходит зачисление абитуриентов в Школу молодого энергетика (далее – ШМЭ). Последняя представляет собой принципиально новый инструмент работы с абитуриентами старейшего факультета СамГТУ. Выпускники

школы посещают открытые лекции ведущих ученых-энергетиков Поволжья, которыми подготовлен специальный учебно-ознакомительный курс изучения актуальных проблем современной теплоэнергетики (таблица). Так, участники ШМЭ, будучи еще школьниками, узнают о роли большой и малой энергетики в современной российской экономике, постигают азы тарифной политики государства в области энергетики и газовой промышленности, изучают вопросы внедрения в нашей стране нетрадиционных, возобновляемых и альтернативных источников энергии. Помимо этого программой ШМЭ предусмотрены экскурсии по лабораториям и кафедрам факультета, объектам социальной инфраструктуры вуза, на предприятия энергетической отрасли Самарской области. Кроме того, посетители ШМЭ активно привлекаются к спортивным, культурно-досуговым и иным мероприятиям, проводимым на ТЭФ. По результатам приемной кампании 2010 года 80 % выпускников ШМЭ поступили на различные специальности теплоэнергетического факультета СамГТУ за счет средств государственного бюджета.

Цикл открытых лекций для участников ШМЭ-2010 в СамГТУ

Поз.	Название лекции	Лектор
1	История развития ТЭК России (в части ее энергетической составляющей)	к.и.н., доцент кафедры «Социология, политология и история Отечества» СамГТУ Алимова Т.В.
2	Роль промышленной энергетики в современных условиях	заслуженный работник Минтопэнерго России, Почетный энергетик РФ, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» СамГТУ Щелоков А.И.
3	Кибернетика и системный анализ как общие закономерности в современном технологическом обществе	д.т.н., профессор кафедры «Управление и системный анализ в теплоэнергетике» Лившиц М.Ю.
4	Роль энергетики в экономике России	д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Тепловые электрические станции» Кудинов А.А.
5	Политика энергосбережения России в начале XXI века	к.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика», декан ТЭФ Елфимов С.В.
6	Солнечно-водородная энергетика. Развитие нетрадиционной, возобновляемой и альтернативной энергетики РФ	к.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Горбушкин Ю.В.

Второй этап – образовательный процесс, осуществляемый на факультете. ТЭФ обладает широкими возможностями для подготовки высококвалифицированных кадров. Собственная отраслевая библиотека, информационный центр площадью свыше 100 м<sup>2</sup>, стажировки лучших студентов факультета за границей благодаря соглашениям с ведущими вузами Европы, осуществляющими подготовку энергетических кадров высшего уровня, различного рода видеоконференции – все это далеко не полный перечень особенностей обучения на ТЭФ СамГТУ. Большое внимание на втором этапе предлагаемой системы уделяется

взаимодействию в процессе обучения с промышленными предприятиями области и страны, а также с представителями зарубежных фирм. На этом этапе реализуются следующие важнейшие направления:

- расширение и повышение качества базы практик. Предприятия, принимая студента на практику, рассматривают его как потенциального сотрудника, формируют интерес к последующему трудоустройству;
- привлечение энергетических компаний и фирм-производителей теплоэнергетического оборудования к проведению различных семинаров, конференций, презентаций и выставок с участием студентов, проведение специализированных факультативов сотрудниками компаний;
- формирование системы конкурсов, проводимых предприятиями для студентов факультета. Задачи конкурса, как правило, имеют практическую направленность, интересную для предприятия-организатора, что позволяет выявить предприятию интересующих его студентов, а студентам начать процесс адаптации к специфике будущей работы.

Третий, заключительный этап – трудоустройство выпускников факультета и их последующее повышение квалификации. Согласно статистике, порядка 96% выпускников ТЭФ трудоустраиваются по специальности, что дает объективную оценку всей многоуровневой системе подготовки специалистов, осуществляемой факультетом в настоящее время. Основными потребителями кадров, выпускаемых факультетом, являются крупнейшие энергетические предприятия России, а также организации, входящие в топливно-энергетический комплекс нашей страны.

Внедренная система позволяет с уверенностью говорить об успешной роли Самарского государственного технического университета в вопросе формирования кадрового резерва предприятий теплоэнергетики Самарской области и России.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТРУБЫ

*Туканова Е.В., Лазуткина О.Р.  
УрФУ*

Применение в качестве внутреннего защитного покрытия труб горячего водоснабжения силикатной эмали доказало свою высокую энергоэффективность [1]. Толщина покрытия составляет 300...500 мкм, эксплуатационный температурный интервал от –150 °С до +400 °С.

Эмаль №	1	2	3	4	5
FeO и MnO, мас. %	14	14,3	20,7	25,2	29,6
Ударная прочность по ГОСТ 24788-81, кДж	5,0	5,7	6,8	7,9	7,3
Микротвердость, на микротвердометре ПМТ-3 кг/мм <sup>2</sup>	665	680	680	685	715



Ударная прочность является одной из важнейших характеристик покрытия, так как в процессе эксплуатации трубы испытывают большие ударные нагрузки. У всех исследованных эмалей при сильном ударе скол проходит не по границе металл-эмаль, а по слою покрытия, т.е. все эмали имеют достаточно хорошее сцепление с металлом, а ударная прочность зависит только от степени закристаллизованности покрытия. На рентгенограмме эмалей 1 и 2 присутствует только один пик, характерный для бората, а на рентгенограмме остальных эмалей есть также пики, характерные для магнетита, следовательно, степень закристаллизованности эмалей с большим содержанием оксидов железа и марганца выше.

Разработанные силикатно-эмалевые покрытия обладают эксплуатационными свойствами [2]:

- прочность при растяжении: 400–900 кгс/см<sup>2</sup>;
- прочность при сжатии: 800–1800 кгс/см<sup>2</sup>;
- твердость по Бринеллю: 400–800 кгс/см<sup>2</sup>;
- температурный предел применения: 300–500 °С;
- абсолютная непроницаемость для влаги.

Применение эмалированных труб позволяет почти на 25 % снизить энергопотери, обусловленные охлаждением воды отопления и горячего водоснабжения.

#### *Библиографический список*

1. Казак К.В., Казак А.К., Диденко В.В. Силикатно-эмалевые покрытия труб // Энергетика региона. 2004. № 2. С. 31-33.
2. Казак К.В. Преимущества силикатно-эмалевого покрытия // Жилищно-коммунальный комплекс Урала. 2004. № 2. С. 21.

## **ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ УДАЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕДОБЫЧИ**

*Турышева А.В., Абрамович Б.Н.*

*Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова  
(технический университет)*

*Anna\_turysheva\_21@mail.ru*

Для нефтедобывающей промышленности характерно высокое количество энергетических затрат на технологии добычи, сбора, подготовки и транспорта нефти. Как правило, новые месторождения нефти оказываются в местах, значительно удаленных от действующих энергосистем. Возможно осуществление энергопитания от систем централизованного электроснабжения, однако, с конца 90-х участились случаи внезапных перерывов в электроснабжении, значительно снизилось качество электроэнергии: ухудшились такие показатели как отклонение и колебание напряжения в трехфазных системах (1). В этих условиях альтернативой служат автономные источники электроснабжения. В качестве энергоносителя целесообразно использовать попутный нефтяной газ, приводящий в рабочее состояние двигатель микротурбины, и допускающий работу при содержании сероводорода до 7 %. Конструкционные детали на агрегат могут быть выполнены из хромистых сталей, типа Х17. Глубина коррозионного разрушения такой стали при температуре 700 °С может составить 0,2 мм за год.

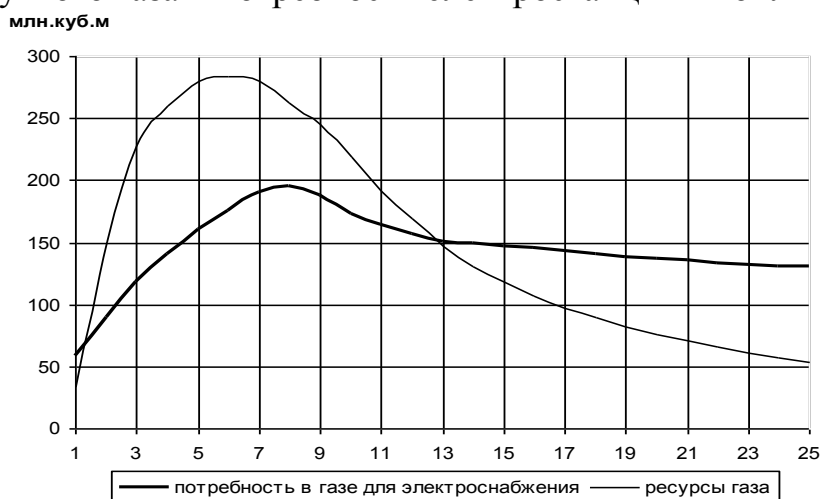
Система электроснабжения на основе энергоносителя в виде попутного нефтяного газа, предназначенная для откачки из скважины технологической жидкости, которая содержит нефть, воду, газ, и механические примеси, содержит: микротурбинную установку, погружной насосный агрегат, кабельную линию, колонну насосно-компрессорных труб, оборудование устья скважины.

Непосредственное использование системы затруднено тем, что выходное напряжение не регулируемо и обладает невысокой стабильностью, а для питания электротехнических установок требуется напряжение с заданным значением. Для обеспечения электропитания технологического объекта, а также электропривода электрической энергией требуемого вида и качества использована схема, в состав которой входят токоограничивающий дроссель, выпрямитель, накопительная емкость и автономный инвертор.

Однако, при питании погружного двигателя от преобразователя частоты, подключенного к зажимам генератора, возникает необходимость компенсации высших гармонических составляющих напряжения. Данная цель может быть достигнута путем введения в состав электрооборудования активного фильтра или активного выпрямителя.

При использовании математической модели системы автономного электроснабжения, разработанной в среде Mathlab, было установлено, что при мощности активного фильтра 15 кВт возможно снижение коэффициента несинусоидальности по току с 22 % до 2 %, а по напряжению с 15 % до 4 %.

Следует отметить, что полное использование попутного нефтяного газа на отдаленном месторождении с применением только электростанций собственных нужд затруднено. Объемы газа могут быть избыточны или их может не хватать для «покрытия» максимальных нагрузок. На рисунке показана динамика добычи попутного газа и потребности электростанции в топливном газе.



Динамика добычи попутного газа и потребности электростанции в топливном газе

Возможными вариантами комплексного решения проблемы утилизации попутного газа могут являться: закачка газа в пласт на разрабатываемом нефтяном месторождении; закачка газа в газовый пласт ближайшего газового месторождения с последующим его извлечением.

Таким образом, предложенная схема электроснабжения позволяет обеспечить электроэнергией удаленные от центральных источников объекты нефтедобычи. При этом качество электроэнергии удовлетворяет ГОСТ 10913-97 [2]. Необходимое увеличение мощности автономных источников может быть осуществлено путем включения на параллельную работу микроэлектростанций, энергоносителями для которых является попутный нефтяной газ.

### *Библиографический список*

1. Григораш О.В., Богатырев Н.И., Курзин Н.Н. Нетрадиционные источники электроэнергии в составе систем гарантированного электроснабжения / Промышленная энергетика. 2004. № 1. С. 59-62.
2. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Изд-во стандартов, 1998.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭКСТЕНСИВНОГО ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОЦЕСС ПЕРЕГОНКИ**

*Феоктистов Д.В.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*E-mail: dmitrytpu@inbox.ru*

Необходимая для проведения процесса разделения в промышленных аппаратах тепловая энергия может быть определена двумя методами: аналитическим, на основе решения уравнения теплового баланса [1], или графоаналитическим, с использованием тепловых диаграмм [2]. Эти методы не обеспечивают вычисление значения оптимальной величины подводимого тепла.

Целью данной работы является экспериментальная оценка энергоэффективности процесса простой перегонки водного раствора этилового спирта, типичного вещества, которое употребляют как основное сырье или вспомогательный материал более 150 различных производств [3]. Исследования проводились с использованием экспериментальной установки, моделирующей условия работы перегонного аппарата (рис. 1).

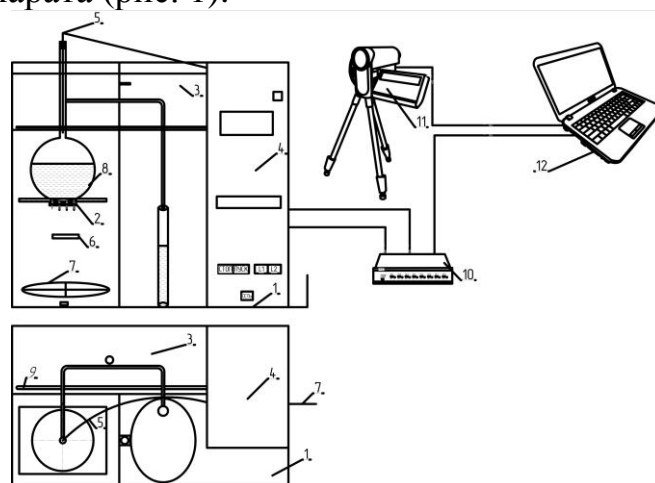


Рис. 1. Экспериментальная установка

- 1 - основание (стол); 2 - спираль; 3 - охлаждающая емкость; 4 - электронный блок обработки показаний термодатчика; 5 - датчик температуры; 6 - регулятор вертикального перемещения электронагревателя; 7 - вентилятор; 8 - колба Вюрца; 9 - нагревательный элемент; 10 - аналого-цифровой преобразователь; 11 - видеокамера; 12 - персональный компьютер

По результатам серии экспериментальных опытов получены термограммы простой перегонки (рис. 2). Из анализа термограммы установлены интервалы изменения температуры паров, которая замерялась платиновым термометром сопротивления в точке отвода паровой фазы по патрубку колбы Вюрца, соединенному с охлаждающей емкостью.

Выделим температурные интервалы, характеризующие определенные стадии процесса простой перегонки бинарных смесей: I – разогрев перегоняемого вещества; II – интенсивное увеличение температуры до кипения низкокипящего компонента; III – полное испарение легколетучего компонента; IV – испарение высококипящего компонента; V – охлаждение паров.

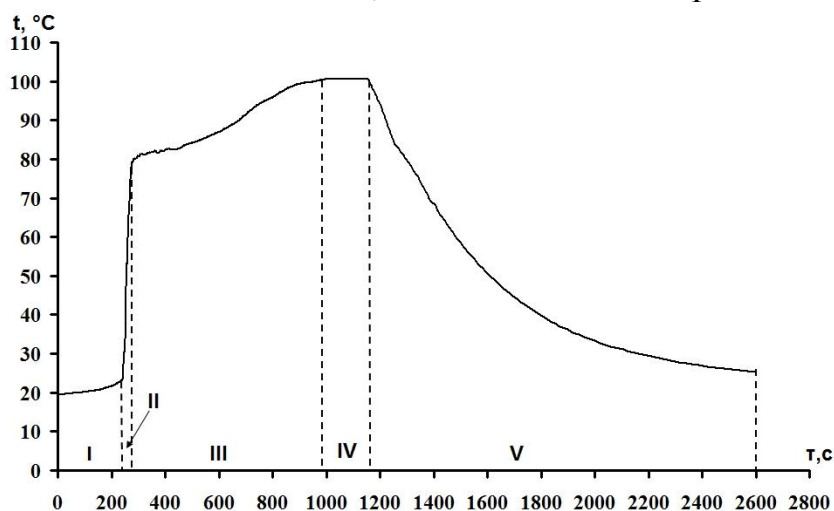


Рис. 2. Термограмма процесса перегонки 40 % водного раствора этилового спирта  
I, II, III, IV, V – интервалы изменения температур

Для оценки экстенсивного влияния тепловой энергии на процесс перегонки проведена серия опытов по разгонке 40 % водного раствора этилового спирта. Анализ результатов проведенных опытов показал, что в I и II интервалах отсутствует выход дистиллята. Следовательно, в данных интервалах целесообразно подводить максимально возможную тепловую энергию для уменьшения общей длительности всего технологического процесса простой перегонки. Результаты оценки эффективности использования тепловой энергии в III и IV интервалах приведены в таблице. В данных интервалах в качестве критерия эффективности применен условный удельный показатель расхода тепла:

$$b_q = \frac{Q_{н.и.}}{m},$$

где  $m$  – масса дистиллята, в каждом эксперименте фиксированная величина  $36,4 \cdot 10^{-3}$ , кг;  $Q_{н.и.}$  – теплота, затраченная на испарение перегоняемого вещества, Дж.

Результаты оценки энергоэффективности процесса простой перегонки 40 %-ного водного раствора этилового спирта в III и IV интервалах

Мощность спирали нагрева $N$ , Вт	40,75	65,82	121,82	189,52	208,38
Время выхода дистиллята $\tau$ , с	1625,0	1353,0	919,0	555,0	408,0
Удельный показатель расхода тепла $b_q$ , кДж/(кг дистиллята)	779,37	1048,14	1317,64	1237,97	1128,2
Производительность $G$ , кг/ч $10^{-3}$	88,62	106,43	156,69	259,46	313,04

Зависимость удельного показателя расхода тепловой энергии и производительности  $G$  от мощности, подведенной к перегонному аппарату, представлена на рис. 3.

На основании анализа и обобщения полученных результатов можно сделать вывод, что в III и IV интервалах наименьшие удельные затраты тепловой энергии 779,37 кДж/(кг дистиллята) соответствуют минимальной подведенной тепловой мощности к установке 40,75 Вт. Следовательно, при работе промышленных перегонных аппаратов для достижения минимальных удельных затрат энергии целесообразно после окончания второго интервала уменьшать подводимую тепловую мощность до величины, обеспечивающей технологический процесс перегонки.

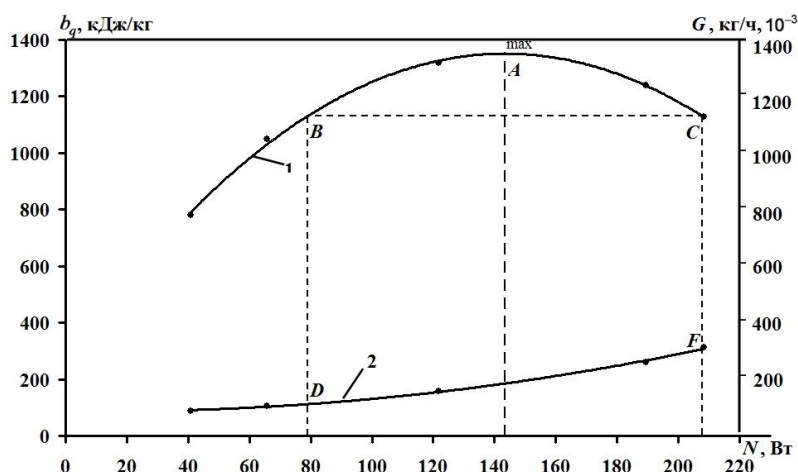


Рис. 3. Зависимость удельного показателя расхода тепла (1), производительности (2) от мощности нагревателя

Но следует отметить, что минимальным затратам тепловой энергии соответствует и наименьшая производительность, левая граница кривой 2 (рис. 3). С увеличением подводимой тепловой мощности производительность возрастает, также повышаются удельные затраты тепла на выход дистиллята до определенного максимума, точка  $A$  (рис. 3), после которого начинается их снижение. Это означает, что энергоэффективный рабочий режим перегонного аппарата в III и IV интервалах устанавливается при подводе тепловой энергии превышающее значение в 143,4 Вт.

Результаты выполненных экспериментов также позволяют сделать заключение о том, что при увеличении мощности подводимого тепла на 1 %, после найденного выше экстремума, удельные затраты тепла выхода дистиллята снижаются на 0,35 %, время перегонки уменьшается на 1,2 %, повышается производительность на 0,8 %. Граница экстенсивного увеличения мощности обусловлена инжекционным гидродинамическим режимом, достижение которого не рекомендуется [2] в работе перегонных аппаратов.

#### Библиографический список

1. Цирлин А.М., Вясилева Э.Н., Романова Т.С. Выбор термодинамически оптимальной последовательности разделения многокомпонентных смесей и распределения поверхностей тепло- и массообмена // Теоретические основы химической технологии. 2009. № 3. С. 254–262.

2. Стабников Б.Н. Перегонка и ректификация этилового спирта. М.: Пищевая промышленность, 1969. 456 с.
3. Кафаров В.В. Оптимизация теплообменных процессов и систем. М.: Энергоатомиздат, 1988. 190 с.

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН АВАРИЙНОГО ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ КИРПИЧНОЙ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ КОТЕЛЬНОЙ В Г. ВЯТСКИЕ ПОЛЯНЫ**

*Хворенков Д. А., Варфоломеева О. И.  
Ижевский государственный технический университет  
tguug@istu.ru*

В марте 2010 г. произошло обрушение дымовой трубы котельной МУП «МПО ЖКХ» г. Вятские Поляны 1960 года постройки. Последняя экспертиза дымовой трубы была проведена в мае 2006 г. В экспертном заключении от 2006 г. в числе прочих мероприятий, было предписано заложить отверстия из-под пальцев решетки трубы. Высота дымовой трубы 43,0 м, диаметр устья 1,93 м, диаметр основания 5,96 м. Ствол и футеровка трубы выполнены из кирпича с устройством по всей высоте закрытого воздушного зазора толщиной 50 мм. Согласно проекту, дымовая труба предназначалась для отведения продуктов сгорания от двух котлов КВГМ-10-150 и трех котлов ДКВР 4-13. Фактически, с 1989 г. работали только водогрейные котлы.

Перед авторами стояла задача установить аналитически влияние пониженных нагрузок и отверстий в футеровке на работу дымовой трубы.

В связи с отсутствием инженерной методики для расчета температурно-влажностных режимов работы дымовых труб с учетом их конструктивных особенностей, сложностью газодинамических и теплообменных процессов, происходящих в дымовой трубе, многофакторностью поставленной задачи, исследование проводилось методом численного моделирования.

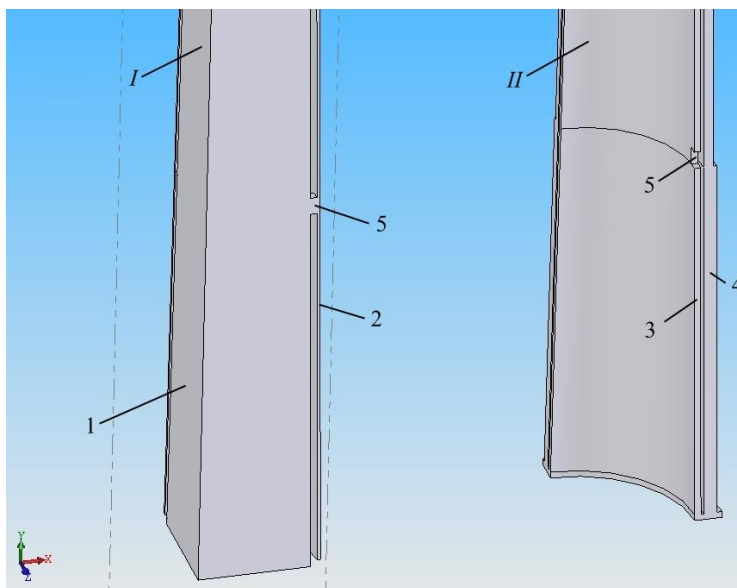


Рис. 1. Фрагменты расчетных областей дымовой трубы

*I* - расчетная область «Дымовые газы»; *II* - расчетная область «Стенка трубы»;  
1 – газовое пространство; 2 – воздушное пространство; 3 – футеровка; 4 – несущий ствол;  
5 – отверстие от пальцев решетки

В качестве источников исходных данных для проведения расчетов использовались заключение экспертизы промышленной безопасности [1], режимные карты котельных агрегатов, суточные ведомости, результаты внешнего осмотра обрушенной трубы. Геометрическая модель рассматриваемой дымовой трубы (рис. 1) состоит из двух расчетных областей, «сшитых» по общей границе: «Дымовые газы» - газовое пространство дымовой трубы; «Стенка трубы» - твердотельная модель футеровки и несущего ствола.

В результате расчета были получены поля скоростей, давлений и температур в расчетной области «Дымовые газы». Анализ результатов расчета показал, что отверстия в футеровке трубы от пальцев решетки, которые не были ликвидированы вопреки предписаниям [1], действительно, внесли существенные возмущения в поток дымовых газов, что демонстрирует поле скоростей (рис. 2) и поле температур (рис. 3).

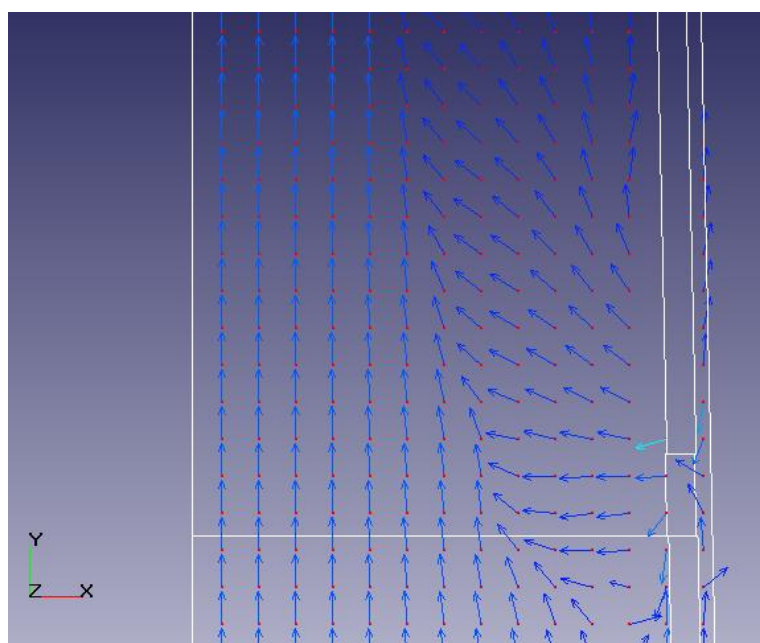


Рис. 2. Поле скоростей в месте нарушения газоплотности футеровки

По пространству между футеровкой и несущим стволом имеют место перетоки дымовых газов с одной высотной отметки на другую через отверстия под пальцы (рис. 2). При этом верхняя и нижняя части воздушной прослойки являются сообщающимися с газовым пространством дымовой трубы, но не являются «проточными». Анализ поля скоростей в области воздушной прослойки показал, что в средней ее части имеет место циркуляция дымовых газов, а верхняя и нижняя части воздушной прослойки являются застойными зонами. Низкие скорости дымовых газов в воздушном межстенном пространстве и, разделяющая воздушное пространство дымовой трубы от основного потока кирпичная стенка (футеровка), способствуют охлаждению дымовых газов, заполняющих воздушную прослойку (рис. 3).

Как видно из рис. 3, существенное охлаждение дымовых газов, попадающих в воздушную прослойку происходит в замкнутых областях воздушного



пространства, не имеющих отверстий для сквозного течения продуктов сгорания. Подробности исследования и его результаты более детально представлены в [2].

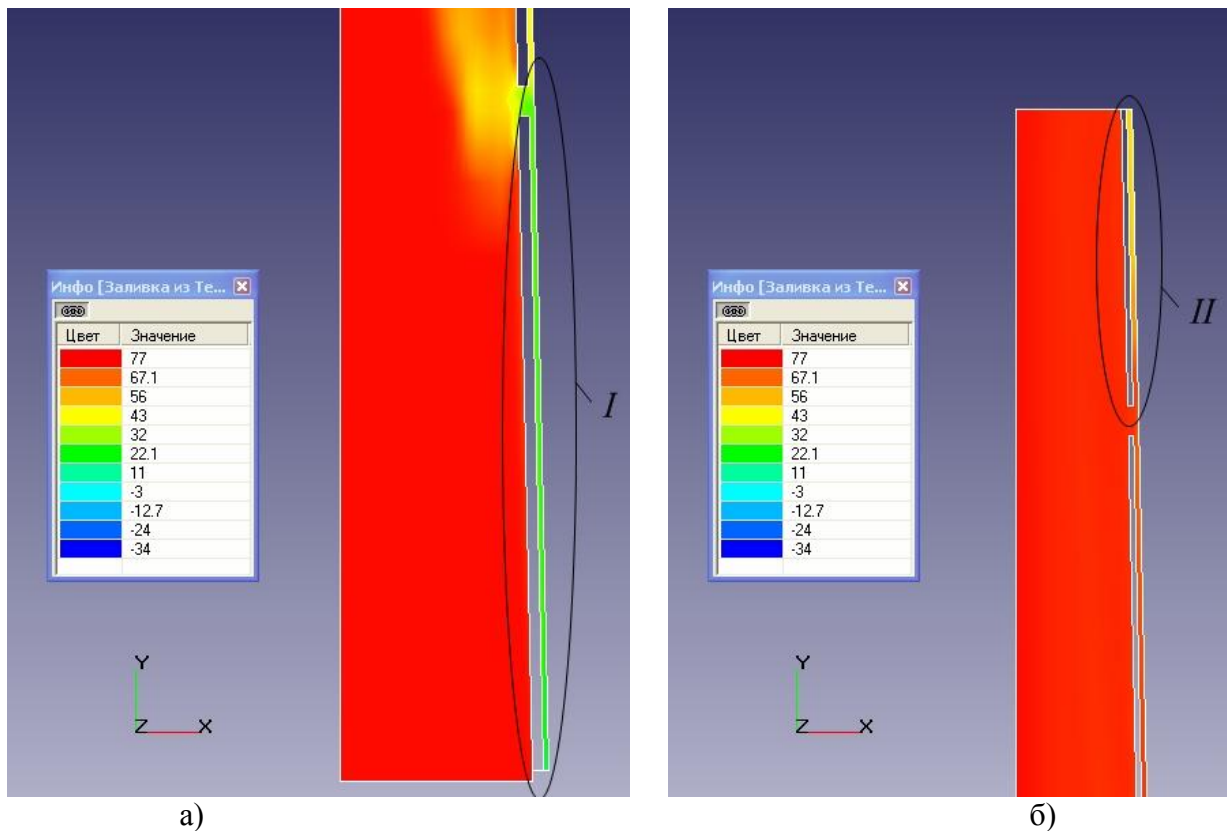


Рис. 3. Поле температур замкнутых областей воздушного пространства дымовой трубы  
а) нижняя часть дымовой трубы; б) верхняя часть дымовой трубы;  
I – нижняя замкнутая область воздушного пространства; II - верхняя замкнутая область воздушного пространства

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

- отверстия в футеровке трубы от пальцев решетки вносят существенные возмущения в поток дымовых газов;
- негазоплотность футеровки трубы приводит к снижению температуры дымовых газов в газовом пространстве дымовой трубы;
- конденсатообразование происходит в воздушном пространстве дымовой трубы с нижней отметки воздушного пространства до отметки +18,19 м, а также с отметки +41,36 м до верхней отметки воздушного пространства трубы.

#### Библиографический список

1. Заключение экспертизы промышленной безопасности № 9/161 на сооружение на опасном производственном объекте газопотребления: «Дымовая кирпичная труба Н=43,0 м D0=11,93 м квартальной котельной МУП «МПО ЖКХ» г. Вятские Поляны». Ижевск: ЗАО ИКЦ «Альтон», 2006.
2. Отчет по договору №291/10 от 06.04.2010 г. на создание научно-технической продукции «Расчет температурно-влажностного режима работы дымовой трубы котельной МУП «МПО ЖКХ» г. Вятские Поляны».



## ПРОБЛЕМЫ СРАВНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗДАНИЙ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТАНДАРТАХ

Чащина С.А.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
chashchina\_s@inbox.ru*

Проблемы, возникающие при сравнении уровней энергоэффективности зданий, обозначились не только в нашей стране, но и в странах Европейского Союза довольно давно. Поэтому уже не первый год европейские специалисты проводят исследования, в которых сравниваются требования к энергоэффективности зданий, предъявляемые в различных странах ЕС.

Значительные различия имеются в оценке уровня теплозащиты наружных ограждающих конструкций. В стандартах разных стран используют наружные, внутренние или смешанные измерения (в соответствии со стандартами ISO), исключая различные элементы (например, несущие стены, лестничные пролеты и т.п.), и, что не менее важно, используют разные способы определения для отапливаемых и неотапливаемых помещений. Вследствие этого, согласно проведенным исследованиям, было выявлено, что площадь пола может различаться на 15 % и более в зависимости от национальных методик, а значит, сравнение энергопотребления здания на квадратный метр может оказаться ошибочным.

Сравнение результатов расчета энергоэффективности здания также не очевидно. Нельзя сравнивать полное расчетное энергопотребление (например, в  $\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  или  $\text{CO}_2 / \text{м}^2$ ). Причиной этого является то, что существует много скрытых различий, учесть которые не просто. Например, принятые по умолчанию национальные нормы воздухообмена в соответствии с национальными требованиями гигиены и охраны труда, которые приводят к завышению или занижению результатов расчетов.

Большинство сравнительных исследований энергетических характеристик зданий затрагивают довольно малую часть Европы. Одной из причин являются значительные климатические различия, которые сильно затрудняют сравнение. При правильном проектировании зданий климатические особенности региона учитываются, что приводит к специфическим энергетическим измерениям. Наружный климат не только затрудняет сравнение; требуемые или желаемые внутренние условия существенно различаются между странами, как, например, нормативная кратность воздухообмена.

В нашей стране требования нормативных документов не только отличаются от зарубежных стран, но и противоречат друг другу внутри страны. Например, в измерениях 1997 года к СНиП 2-04-05 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» было заменено значение расчетной температуры внутреннего воздуха при расчете систем отопления с минимальной из допустимых температур (+18 °C) на минимальную из оптимальных температур (+20 °C). Начало и конец отопительного периода для тех же наружных условий остались на прежнем уровне при  $t_{\text{н}} = +8$  °C, хотя логично было бы повысить эту температуру

до +10 °С, поскольку повышена расчетная температура внутреннего воздуха с +18 до +20 °С.

Одна из основных трудностей при исследовании методов сравнения заключается в том, что компоненты и системы зданий в странах ЕС описываются разными параметрами.

Для продукции иностранного производства часто не достает нужной информации – измерения производятся только в соответствии с национальными стандартами страны, где продукция продается. Например, на данный момент не существуют единые CEN-стандарты для бытового горячего водоснабжения, поэтому КПД фламандского котла для горячего водоснабжения в соответствии с голландскими стандартами не будет измеряться. В Голландии, в соответствии с ее национальными стандартами, при отсутствии измерений по умолчанию используется КПД котла, равный 30 %, в то время как на самом деле котлы горячего водоснабжения могут быть более эффективными (до 70 %).

Все вышесказанное в очередной раз только подтверждает сложность прямого применения зарубежных норм, в том числе стандартов иностранных государств, в условиях нашей страны.

#### *Библиографический список*

1. Энергосбережение в Европе: применение энергоэффективных распределительных трансформаторов / пер. Е.В. Мельникова // Энергосбережение. 2003. № 6. С. 66-70.
2. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. СПб.: Деан, 2004. 143 с.

## **К ВОПРОСУ О СТРАТЕГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ**

*Чекалкин С.М., Осипов П.В., Микула В.А.*

*УрФУ*

*tes@mail.ustu.ru*

Вопрос реформирования ЖКХ, в настоящее время, является одним из наиболее злободневных. Из практики обследования нескольких десятков муниципальных образований и городских округов можно выделить следующие основные показатели неудовлетворительного состояния этих систем теплоснабжения:

- Низкая температура воздуха в помещениях потребителей.
- Сверхвысокие утечки из сетей (до 49 % от объема тепловой сети и систем теплопотребления), что связано с
  - изношенностью сетей,
  - отсутствием приборов учета.

При таком большом объеме утечек, возникают не только большие потери тепловой энергии с утечками, но и система водоподготовки в котельных не обеспечивает необходимую очистку воды от растворенных газов и солей, что ведет к быстрой коррозии и большим отложениям в системе теплоснабжения.

- Большие потери тепловой энергии на участках без тепловой изоляции, либо с плохой тепловой изоляцией.

- Замеры плотности теплового потока показали, что отношение реальных потерь тепловой энергии через тепловую изоляцию и нормативных варьируется в среднем от 1,5 до 4-х раз.

- Высокие затраты электроэнергии на транспортировку теплоносителя;
- Неэффективная работа котельных;

Наиболее эффективным, по-нашему мнению, является следующий порядок преобразования системы теплоснабжения:

1. *Создание теплогидравлической модели тепловой сети.*

Это инструмент необходимый для решения большей части последующих задач преобразования системы теплоснабжения. Предпочтительной программой для создания модели тепловой сети является компьютерная программа Zulu (ООО «Политерм», г. Санкт-Петербург), поскольку совмещает в себе геоинформационное представление и модель для теплогидравлических расчетов сети.

2. *Перевод неэффективных потребителей на индивидуальное теплоснабжение.* Используя компьютерную модель можно провести оценки по отдельным потребителям и группам потребителей, оценивая тепловые потери и затраты электроэнергии при транспортировке теплоносителя к этим потребителям. В результате выделяются «неэффективные» (для системы централизованного теплоснабжения) потребители, которых выгоднее перевести на индивидуальную схему теплоснабжения. Например, анализ тепловой сети одного из городов Свердловской области показал:

- Количество «неэффективных» потребителей – 146 (из 221), с тепловой нагрузкой 8,2 % от общей.

- Тепловые потери неэффективных потребителей – 40...165 % от их теплоснабжения.

- Экономия при переводе их на индивидуальную схему теплоснабжения – 4,4 млн. руб.

- Затраты – 8,7 млн. руб.

Кроме того, в денежном выражении не оценивались дополнительные эффекты:

- Увеличение надежности работы тепловой сети.
- Снижение утечек.
- Уменьшение затрат на замену аварийных трубопроводов и арматуры.

После реализации этого этапа в некоторых населенных пунктах заметно сокращаются объемы работ проводимых на последующих этапах.

3. *Снижение утечек и тепловых потерь трубопроводов тепловых сетей.*

Для чего необходимо провести:

- Ревизию и замену запорной арматуры.
- Замену аварийных участков тепловых сетей, при этом предпочтительна наружная прокладка с использованием предизолированных труб.
- Установка приборов учета у потребителей.

Данный этап позволяет получить наибольший объем экономии энергоресурсов и денежных средств. Срок окупаемости данного мероприятия менее приемлемый 5-10 лет и требуются большой объем капитальных вложений, поскольку около 70...90 % тепловых сетей находятся в аварийном состоянии. Однако кроме экономических факторов в данном случае играет роль вопрос надежности теплоснабжения, что жизненно важно в наших климатических условиях.

4. *Достижение оптимального теплогидравлического режима работы тепловых сетей.* После проведения конструкторских расчетов с помощью созданной модели (без «неэффективных» потребителей) выдаются рекомендации по замене участков с высоким гидравлическим сопротивлением. Затем проводится наладочный и поверочный расчеты, по результатам, которых выдаются рекомендации по установке дроссельных шайб, элеваторов и подбора необходимого насосного оборудования, как на котельной, так и на тепловых пунктах.

Далее проводится практическая наладка оптимального теплогидравлического режима работы тепловой сети: установка необходимого насосного оборудования (в котельной и на тепловой сети) изготовление и установка шайб и элеваторов, испытание сети и корректировка дросселирующих устройств на «проблемных потребителях». После чего можно ожидать снижения затрат электроэнергии на транспортировку сетевой воды, как показывает опыт, от 1,5 до 5 раз, кроме того обеспечиваются комфортные условия у всех потребителей.

5. *Определение оптимального варианта распределения теплоисточников.* Это, например, может определяться:

- неэффективностью работы оборудования существующей котельной;
- отдаленностью расположения от оставшихся потребителей;
- неприемлемым несоответствием нагрузки котельной и потребителей;
- высокая доля «не топливных» статей в себестоимости производимой тепловой энергии.

Например, для г. Кушвы рекомендации по теплоисточникам получились следующими:

- объединение 2-х локальных тепловых сетей на одну котельную с закрытием другой;
- полное закрытие 3-х мелких котельных с переводом всех потребителей на индивидуальную схему теплоснабжения;
- замена 2-х «мелких» котельных с очень высокими затратами (на «не топливные» статьи) на новые автоматизированные котельные без персонала;
- закрытие крупной котельной (установленная мощность 100 Гкал/ч) и строительство ближе к потребителям котельной мощностью 17 Гкал/ч;
- совершенствование существующей котельной мощностью 70 Гкал/ч по разработанной программе.

6. *Реконструкция существующей котельной.*

При другом порядке преобразования системы теплоснабжения, по нашему мнению, данный этап может оказаться бесполезным или необоснованно затратным.

## ИСТОЧНИК ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОСВЕЩЕНИЯ

*Черепанов М. Ю., Орлов П. А., Степанов Е. А., Гумирова А. Р., Пирумян Н. М.*

*УрФУ*

*sarapulovfn.yandex.ru*

Основой современных полупроводниковых источников света служит излучающий кванты света p-n-переход. Светодиод или светоизлучающий диод (СД, LED, англ. Light-emitting diode) – полупроводниковый прибор, излучающий некогерентный свет при пропускании через него электрического тока. Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, его цветовые характеристики зависят от химического состава, использованного в нем полупроводника. Следовательно, светодиод – это прибор, преобразующий энергию электрического тока в световую. Основой такого прибора является излучающий кристалл. Излучение светодиода занимает достаточно узкую полосу (до 25...30 нм) шкалы спектрального распределения плотности энергетической яркости и поэтому носит характер квазимонохроматического излучения.

Не всякие полупроводниковые материалы эффективно испускают свет при рекомбинации. Хорошими излучателями являются полупроводники типа АІІІV (например, GaAs или InP) и АІІVІ (например, ZnSe или CdTe). Варьируя состав полупроводников, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн от ультрафиолета (GaN) до среднего инфракрасного диапазона (PbS).

Первое известное сообщение об излучении света твердотельным диодом было сделано в 1907 году британским экспериментатором Генри Раундом из Маркони Лабс. Затем Олег Лосев в Нижегородской радиолaborатории в 1923 г. показал, что оно возникает вблизи p-n-перехода. О. Лосев оценил практическую значимость своего открытия, позволявшего создавать малогабаритные твердотельные (безвакуумные) источники света с очень низким напряжением питания (менее 10 В) и очень высоким быстродействием. Полученные им два авторских свидетельства на «Световое реле» (первое заявлено в феврале 1927г.) закрепили за Россией приоритет в области светодиодов.

После изобретения транзистора (в 1948 году) и создания теории p-n-перехода (основы всех полупроводниковых приборов) стала понятна природа свечения. В 1962 году американец Ник Холоньяк сообщил о начале полупромышленного выпуска светодиодов. В 1970-е годы группа Жореса Алфёрова приспособила к светодиодам гетероструктуры (чередование слоев разных полупроводников вместо легирования, то есть добавления примесей), потом американцы выбрали для них очень хитрый полупроводник – алюминий-индий-галлий-фосфор «в одном флаконе» – эффективность возросла многократно. Но только для красного света, а полупроводник для фиолетового края спектра, нитрид галлия, десятилетиями не давался ученым. Кстати, за изучение в 60–70-х гг. многослойных полупроводниковых структур, так называемых гетероструктур, российский физик академик Жорес Алфёров получил Нобелевскую премию 2000 года.

В 1993 году японец Шуджи Накамура из фирмы Nichia ухватил жар-птицу за хвост создав яркий синий светодиод, а еще через 2 года – и белый. В сентяб-

ре 2006 года Накамура удостоен премии «Миллениум» (1 миллион евро) и «узаконен» как лидер светодиодной революции.

Подобные премии просто так не дают. Миниатюрный ( $2 \times 2 \times 0,3 \text{ мм}^3$ ) и с виду простенький чип белого светодиода вобрал в себя последние достижения физики полупроводников и нанотехнологий. Его активную зону образуют два десятка чередующихся разнородных полупроводниковых пленок, содержащих нановкрапления состава «нитрид галлия-алюминия», которые называют квантовыми точками. Именно через них преимущественно протекает ток светодиода, в них рождаются фотоны, соответствующие синему свету. Сквозь другие области этот свет беспрепятственно выходит наружу. На поверхность чипа нанесена пленка люминофора, преобразующего часть светового потока в зелено-желто-красные тона, в результате чего образуется белый свет. *Отметим, что объем излучающей зоны мощного светодиода в десятки тысяч раз меньше объема вольфрамовой нити лампы накаливания той же силы света.*

Промышленность Японии и стран Юго-Восточной Азии в последние годы освоила массовое производство светодиодов с уникальными характеристиками, о которых совсем недавно не приходилось и мечтать. Удалось, сохранив низкое энергопотребление светодиода, многократно увеличить яркость свечения, улучшить цветопередачу в первую очередь синего цвета, повысить надежность и долговечность. Современные светодиодные экраны достигают яркости  $12\,500 \text{ кд/м}^2$ , что позволяет эффективно работать при ярком солнечном свете. Ресурс самого светодиода увеличен до 100 000 часов! Диапазон угла излучения сегодня может составлять до 120 градусов в горизонтальной плоскости. Начался бум по созданию новых светодиодных экранов. В подтверждение приведем статистику в таблице, опубликованную в электронном журнале «Наружное видео».

Динамика роста количества уличных экранов в разных странах

Страны	Число экранов			
	1990	1996	1998	2000
Америка	3	24	38	78
Япония	5	10	46	66
Корея	0	5	42	48
Китай	0	7	14	58
Россия	0	4	7	15

Проектор со световым потоком в 12000 люменов (наибольшее значение для современных проекторов) на экране площадью 24 м с коэффициентом отражения 0,95 и на расстоянии проекции 9м обеспечивает максимальную яркость  $1350 \text{ кд/м}^2$ . Для сравнения, светодиодный экран такой же площади, установленный в августе 2001 года в центре Москвы на Охотном ряду, обеспечивает яркость изображения, превышающую  $8000 \text{ кд/м}^2$ .

К преимуществам светодиодов можно отнести:

- низкое энергопотребление - не более 10 % от потребления при использовании ламп накаливания;
- длительный срок службы - до 100 000 часов;

- высокий ресурс прочности - ударная и вибрационная устойчивость;
- чистота и разнообразие цветов, направленность излучения;
- регулируемая интенсивность;
- низкое рабочее напряжение;
- экологическая и противопожарная безопасность;
- светодиоды не содержат в своем составе ртути и почти не нагреваются.

Средний срок службы светодиодов составляет от 50 до 100 тысяч часов, т. е. срок, сравнимый с жизненным циклом многих осветительных установок.

Несмотря на вышеперечисленные плюсы светодиодов, до сих пор процент перехода на светодиодные лампы невелик – менее 10 %. Главной причиной является слишком высокая цена. Отношение доллар/люмен для обычной лампы накаливания – приблизительно 0,001. Сверхяркие светодиоды в настоящее время могут достигать лишь отношения 0,04...0,02 доллара за люмен. Вторая причина в том, что световой поток, который испускает обычный 5 мм светодиод, работающий на 20 мА – всего 1...3 люмена. Существует много применений, использующих обычные лампы накаливания или галогеновые лампы, нуждающиеся в нескольких сотнях люменов или даже нескольких тысячах люменов. Для этого необходимы десятки и даже сотни мощных светодиодов, а общий размер светильника был бы слишком велик, чтобы вписаться в место установки. Третья причина - качество светодиодов. Благодаря нетепловой природе излучения светодиодов, отсутствие нити накала теоретически должно обуславливать фантастический срок службы. В то время как лампы накаливания имеют срок службы около 1000 часов, производители сверхярких светодиодов декларируют 100000 часов, то есть более 11 лет непрерывной работы! На самом деле, это число вводит потребителя в заблуждение: как и у всех других источников света, параметры светодиодов ухудшаются с течением времени, и эта деградация связана с такими факторами, как величина прямого тока, теплоотвод, тип и качество используемых чипов. В настоящее время нет никакого стандарта, определяющего срок службы для светодиодов, хотя существуют предложения от авторитетных организаций считать таковым сроком время, в течение которого световой поток уменьшается до некоторого значения (до 70 % или 50 %) от начальной величины. Тем не менее, есть компании, которым удалось объединить дешевую китайскую сборку, высококачественные материалы корейского и японского производства и передовые мировые технологии. Это позволило уже сейчас решить ценовую проблему при сохранении качественных показателей на уровне изделий от мировых лидеров, таких как Osram Opto Semiconductors, Lumileds, Nichia и т.п., обеспечивающих максимально возможные световую отдачу и срок жизни при низкой стоимости.

#### *Библиографический список*

1. Никифоров С.Г. Проблемы, теория и реальность светодиодов для современных систем отображения информации высшего качества / С. Г. Никифоров // Компоненты и технологии. 2005. № 5.
2. Абрамов В.С. Особенности конструирования мощных белых светодиодов / В.С. Абрамов, С.Г. Никифоров, В.П. Сушков, А.В. Шишов // Светодиоды и лазеры. 2003.

## **СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ПУТЕМ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Чиркова Е. В., Кучеренко М.Н.,  
Тольяттинский государственный университет  
chirkovaev@mail.ru*

Энергосбережение при проектировании производственных сельскохозяйственных зданий является одной из важных задач, требующей особого внимания. Мировой энергетический кризис 70-х годов подтолкнул к необходимости ужесточить требования к экономии энергии. В частности, появилось новое научно-экспериментальное направление в строительстве, связанное с понятием «здание с эффективным использованием энергии». Основным требованием при проектировании такого здания являлось выявление суммарного эффекта энергосбережения от использования архитектурно-строительных и инженерных решений, направленных на экономию энергетических ресурсов. Несмотря на то, что для архитекторов и инженеров очевидным является следующий тезис: принципы проектирования энергоэффективных зданий должны быть принципами проектирования любых зданий, вопросу проектирования энергоэффективных сельскохозяйственных зданий практически не уделяется внимания. В то время как современные тенденции развития сельского хозяйства, направленные на создание высокотехнологизированных комплексов, повышают требования к снижению энергоемкости сельскохозяйственных зданий, и особенно их систем кондиционирования микроклимата.

По мнению профессора В.Н. Богословского, первым шагом в вопросе создания зданий с эффективным использованием энергии является выполнение требования обязательного обеспечения расчетных внутренних условий. Необходимо отметить, что поддержание требуемых параметров внутреннего воздуха в зданиях и сооружениях связано с двумя элементами систем кондиционирования микроклимата. В качестве пассивного элемента выступают ограждающие конструкции, к активному относятся системы кондиционирования воздуха.

Согласно исследованиям профессора В.И. Бодрова [1], в настоящее время системы кондиционирования воздуха в производственных сельскохозяйственных зданиях находятся в катастрофическом состоянии. Запроектированные отопительно-вентиляционные системы часто не монтируются в полном объеме либо функционируют только в начальный период эксплуатации зданий, а после выхода из строя не ремонтируются и не восстанавливаются. К примеру, лишь 2-3 % коровников отапливаются, преобладающий способ вентиляции – неорганизованный воздухообмен. При этом в холодный период значения относительной влажности воздуха достигают 96...98 %, о чем свидетельствует постоянный туман в помещениях. Объясняется такое положение тем, что для поддер-



жания нормируемых параметров микроклимата сельскохозяйственных зданий требуются большие затраты на стоимость энергии, которые не окупаются приростом получаемой от животных продукции.

Что касается наружных ограждающих конструкций, то в условиях низких температур и высоких значений относительной влажности внутреннего воздуха, они испытывают чрезмерные напряжения, что приводит к резкому ухудшению их теплозащитных качеств, а также к преждевременному износу.

Таким образом, необходимо стремиться к совершенствованию активных и пассивных элементов систем кондиционирования микроклимата, тем самым обеспечивая не только экономию энергоресурсов, но и поддержание требуемых параметров внутреннего воздуха в сельскохозяйственных зданиях.

С целью повышения качества проектирования наружных ограждающих конструкций сельскохозяйственных зданий предлагается особое внимание при расчете теплофизических характеристик наружных ограждений уделять влажностному расчету, поскольку для данного класса зданий вопрос о влажностном состоянии строительных материалов в конструкциях является одним из основных. При этом за основу расчета принять теорию потенциала влажности В.Н. Богословского [2], которая в отличие от теорий диффузии пара и влагопроводности позволяет производить расчет многослойных конструкций в произвольном диапазоне влажности и температуры.

Теория потенциала влажности основывается на проведении аналогии между явлениями тепло- и влагопереноса. Следовательно, к явлениям переноса влаги применяются те же методы и системы понятий, что и к явлениям переноса теплоты. Так, понятие потенциала влажности  $I$ , выражаемое в °В, введено по аналогии с потенциалом переноса теплоты, которым является температура.

По аналогии с основным законом теплопроводности, устанавливающим прямую пропорциональность между удельным потоком теплоты и градиентом температуры, удельный поток влаги через ограждение  $i$ , кг/(м²·ч), пропорционален градиенту потенциала влажности:

$$i = -\chi \nabla \Theta, \quad (1)$$

где  $\chi$  – коэффициент влагопроводности, аналогичный коэффициенту теплопроводности в законе Фурье, кг/(м·ч·°В);

$\nabla \Theta$  – градиент потенциала влажности, °В/м.

Согласно теории потенциала влажности количество влаги  $I$ , кг, проходящей сквозь плоскую стенку равно

$$I = (\Theta_{int} - \Theta_{ext}) F z \frac{\chi}{\delta}, \quad (2)$$

где  $I_{int}$  и  $I_{ext}$  – потенциалы влажности воздуха соответственно с внутренней и наружной стороны ограждения, °В;  $F$  – площадь ограждения, м²;  $z$  – время прохождения влаги в количестве  $I$ , кг, через ограждение, ч;  $\chi$  – коэффициент влагопроводности материала, кг/(м·ч·°В);  $\delta$  – толщина ограждения, м

При прохождении влаги через материал ограждения, последний оказывает сопротивление потоку влаги. Это сопротивление называется сопротивлением влагопередаче и  $R_{и}$ , м²·ч·°В/кг и определяется по формуле

$$R_{\Theta} = \frac{\delta}{\chi}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м.

В случае многослойного ограждения общее сопротивление влагопередаче равно сумме сопротивлений отдельных слоев

$$R_{\Theta,0} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\chi_i}, \quad (4)$$

Определение потенциалов влажности внутреннего и наружного воздуха  $I_{int}$  и  $I_{ext}$ , °В, возможно на основании зависимостей, предложенных в работе [3]. Однако для большинства строительных материалов неизвестны значения коэффициентов влагопроводности  $\chi$ , кг/(м·ч·°В), что существенно затрудняет внедрение теории потенциала влажности в практику строительного проектирования.

Вывод. Решение вопроса по определению коэффициента влагопроводности  $\chi$ , кг/(м·ч·°В), для любых строительных материалов в шкале потенциала влажности, позволит использовать теорию потенциала влажности в расчете влажностного режима наружных ограждений сельскохозяйственных зданий, приведет к повышению надежности и эффективности строительных конструкций и, тем самым, к снижению энергоемкости данного класса зданий.

#### *Библиографический список*

1. Бодров В.И. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений / В.И. Бодров, М.В. Бодров, Е.Г. Ионычев, М.Н. Кучеренко. Н. Новгород: ННГАСУ, 2008. 623 с.
2. Богословский В.Н. Строительная теплофизика / В.Н. Богословский. М.: Высшая школа, 1982. 415 с.
3. Кучеренко М.Н. Термодинамическое обоснование графоаналитического решения задачи влагопереноса в слое биологически активной продукции: дис. ... канд. техн. наук: защ. 27.05.2005: утв. 18.10.2005 / М.Н. Кучеренко. Н. Новгород: ННГАСУ, 2005. 134 с.

### **ВЛИЯНИЕ МАРЖИНАЛЬНОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА ВЫРАВНИВАНИЕ ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

*Чечушков Д.А., Шабалин С.А., Паниковская Т.Ю.*

*УрФУ, г. Екатеринбург*

*[chchushkov@gmail.com](mailto:chchushkov@gmail.com), [hamtik@uralweb.ru](mailto:hamtik@uralweb.ru), [pti@daes.ustu.ru](mailto:pti@daes.ustu.ru)*

Главными целями внедрения в энергетическую отрасль конкурентных отношений являются повышение эффективности производства, транспортировки и распределения электрической энергии (ЭЭ) с одновременным снижением цен на ЭЭ, стимулирование всех участников к внедрению энергосберегающих технологий.

В любой энергосистеме в каждый момент времени выполняется баланс между выработкой и потреблением, поэтому суточные или сезонные увеличения и спады нагрузки должны покрываться изменением выработки станций

(диспетчированием). Дефицит генерирующих мощностей во время пиков потребления в экономическом отношении аналогичен недостаточному предложению и вызывает рост цен. В результате стоимость производства электроэнергии, предельные издержки и конкурентные цены на ЭЭ увеличиваются и уменьшаются вместе с изменением спроса на энергию и могут привести к модификации графиков нагрузки потребителей. Таким образом, ценообразование на оптовом рынке электроэнергии и мощности косвенно влияет на снижение пиковых значений системной нагрузки.

В зарубежной практике для решения проблемы покрытия нагрузки в пиковые часы предлагается система мероприятий, получившая название DSM (Demand Side Management) или управление потреблением [1-4].

Типовой суточный график нагрузки (ГН) имеет два максимума потребления: утренний и вечерний, и может быть разделен на три временные зоны: зону минимальных нагрузок (ночные часы), пиковую и полупиковую зоны. Цена на РСВ формируются на основе реальных заявленных объемов выработки и потребления и доводятся до сведения потребителя до реализации фактического режима. Следовательно, потребители могут в краткосрочной перспективе (до подачи заявки на следующие сутки) откорректировать свою заявку, перенося максимум потребления на период с более низкими ценами. Опыт функционирования нового оптового рынка электроэнергии и мощности (НОРЭМ) в России показывает, что неравномерность цены побуждает потребителей к перераспределению нагрузки во времени: снижению потребления в часы максимума и переносу нагрузки на часы минимальных нагрузок.

Анализ состава потребителей, участников оптового рынка электроэнергии по отдельной ОЭС, показал, что самыми крупными покупателями на оптовом рынке ЭЭ являются: сбытовые компании и гарантирующие поставщики (ГП), крупные потребители металлургической, нефтедобывающей промышленности.

ГП и сбытовые компании обязаны обеспечить электроэнергией розничных потребителей, (в том числе и тех, которые покупают ЭЭ по зонным тарифам). На розничных рынках, как правило, устанавливается ценовое регулирование, поэтому для розничных потребителей цены на ЭЭ практически неизменны в течение длительного периода. Основным инструментом для сбытовых компаний и ГП с целью стимулирования потребителей к выравниванию ГН является изменение соотношения тарифов в разных временных зонах [1, 2].

На оптовом рынке потребитель оплачивает энергию по единой маржинальной цене вне зависимости от того, какой график нагрузки он имеет. Ряд потребителей, стараясь минимизировать расходы на покупку электроэнергии, изменяют форму ГН и влияют на снижение пиковых нагрузок. Для стимулирования потребителей к выравниванию ГН и снижению пиковой нагрузки возникает задача учета конфигурации ГН в суммарных платежах потребителя.

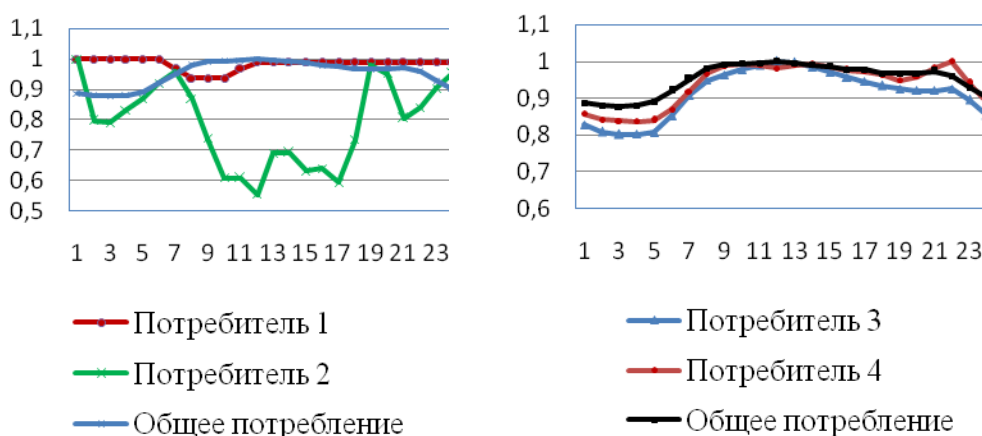
В работе была рассмотрена реальная ОЭС, для которой были проанализированы часовые заявки потребителей, а также индивидуальные расчетные цены (ИРЦ) потребителей и почасовые значения цен на оптовом рынке. Определены следующие аналитические характеристики (табл. 1), [3, 4]:

- коэффициент неравномерности  $k_H = P_{\min}/P_{\max}$  ;
- коэффициент заполнения  $k_3 = P_{\text{ср}}/P_{\max}$  ;
- коэффициент корреляции между собственным ( $i$ ) и суммарным объемами потребления  $k_{ic}$  ;
- коэффициент корреляции между собственным объемом потребления и средневзвешенной равновесной ценой на ЭЭ  $k_{iC}$  ;
- ИРЦ потребителя  $\bar{C}_i$ , средневзвешенная цена рынка ЭЭ;
- изменение размера оплаты по отношению к  $(\bar{P}_i \cdot \bar{C})$ .

Характеристики потребителей

Показатели	$k_H$	$k_3$	$k_{ic}$	$k_{iC}$	$\bar{C}$ , $\frac{\text{руб.}}{\text{МВтч}}$	Изменение оплаты по отношению к $(\bar{P}_i \cdot \bar{C})$	
						тыс.руб.	%
Потребитель 1	0,935	0,983	-0,56	-0,71	993,4	-61,1	-0,6
Потребитель 2	0,553	0,79	-0,58	-0,7	980,6	-20,6	-1,8
Потребитель 3	0,801	0,913	0,98	0,946	1002	112,3	0,3
Потребитель 4	0,837	0,938	0,96	0,905	1000,7	46,9	0,2
Группа потребителей	0,924	0,972		-0,777	992	-590,9	-0,7
ЭЭС в целом	0,585	0,951	–	0,915	999	–	–

Анализ заявок на покупку ЭЭ свидетельствует, что ряд потребителей принимают решения по снижению потребления в часы пиковых нагрузок и переносу нагрузки на ночные часы, в результате снижаются общий максимум потребления в ОЭС и пиковые цены. Характерные графики нагрузки для некоторых потребителей и суммарный график нагрузки системы приведены на рисунке в относительных единицах.



Индивидуальные графики заявок на покупку ЭЭ

Приведенные в таблице расчетные характеристики показывают, что потребители, «проваливающие» график нагрузки в часы максимума, имеют ИРЦ ниже, чем средневзвешенная цена рынка ЭЭ, что приводит к снижению реальных размеров оплаты за ЭЭ. Кроме этого, для группы потребителей (с отрица-

тельными коэффициентами корреляции) коэффициенты неравномерности и заполнения имеют значения выше, чем в целом по ОЭС что имеет положительный системный эффект.

*Выводы:*

1. При повышении цен на энергию потребитель для максимизации прибыли или минимизации затрат при жестких бюджетных ограничениях старается снизить приобретение подорожавшего ресурса.

2. Достаточно широкий диапазон изменения цен на ЭЭ между часами минимальных и максимальных нагрузок стимулирует потребителей к перераспределению нагрузки по времени.

3. Доля потребителей, принимающих решения по снижению нагрузки в часы пиковых цен и за счет переноса потребления на часы минимальных нагрузок, увеличивается, что способствует выравниванию системного ГН.

#### *Библиографический список*

1. Стофт С. Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии: Пер. с англ. М.: Мир, 2006. 623 с.
2. Schweppe F.C., Caramanis M.C., Tabors R.D., and Bohn R.E. Spot Pricing of Electricity. Kluwer Academic Publishers, 1988. 350 p.
3. Kirschen D.S., Strbac G., Cumperayot P., Mendes D. Factoring the Elasticity of Demand in Electricity Price // IEEE Trans Power Systems. 2000. No. 2. P. 612-617.
4. Aalami H.A., Moghaddam M.P., Yousefi G.R. Demand response modeling considering Interruptible / Curtailable loads and capacity market programs // Applied Energy. 2010. № 87. P. 243-250.

### **ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

*Чумаченко А.Ю., Сыропятов Е.А., Федорова С.В.*

*РГППУ, г. Екатеринбург*

*agenter@mail.ru*

Современные социально-экономические условия развития России предъявляют весьма высокие требования к уровню подготовки специалиста. От выпускников высшего учебного заведения сегодня требуют новое профессиональное мышление. Подготовка инженера к профессиональной деятельности в современных условиях – это подготовка к творческой деятельности в обществе, экономика которого основана на знаниях и умениях.

Для обслуживания и внедрения современных энергосберегающих технологий требуются специалисты, подготовка которых должна отвечать современным запросам общества.

На базе оборудования *Danfoss* и *Grundfos* разработан лабораторный комплекс, имитирующий систему водоснабжения на одном и двух насосах с частотно-регулируемым электроприводом. Лабораторный комплекс предназначен для эффективного управления расходом воды и потреблением электроэнергии.

Комплекс обеспечивает имитацию системы водоснабжения, экспериментально показывает преимущества частотного регулирования приводов насосных агрегатов над методом дросселирования, а также позволяет практически

ознакомиться с настройками преобразователя частоты, как с помощью компьютера, так и через панель *LCP* частотного преобразователя.

По окончании выполнения лабораторных работ, основанных на практико-ориентированном подходе, студенты овладеют следующими компетенциями:

1. Научатся выполнять монтаж частотных преобразователей и насосов;
2. Смогут осуществлять программирование базовых, основных и специальных параметров частотных преобразователей, как через персональный компьютер с помощью программы МСТ-10, так и через панель *LCP* частотного преобразователя;
3. Научатся получать и анализировать графики и различные характеристики частотного преобразователя.

## **ОБ ИННОВАЦИОННОЙ МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ФАКТИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ**

*Щербинин К.А., Муң В.А.  
УрФУ, Scherbinin.ka@yandex.ru*

В настоящее время общая протяженность тепловых сетей города Екатеринбурга в двухтрубном исчислении - более 2000 км. Основными способами прокладки тепловых сетей являются подземный бесканальный способ и способ прокладки в непроходных ж/б каналах. Тепловая изоляция преимущественно минераловатная. Значительная часть трубопроводов находится в сверхнормативной эксплуатации и требует капитального ремонта и замены. В свою очередь, возникают вопросы: чем заменить существующую минераловатную изоляцию, как избежать сверхнормативных тепловых потерь, каким будет срок окупаемости реконструируемой тепломагистрали, каким будет срок службы реконструируемой тепломагистрали. По данной тематике написано множество статей и проведен ряд математических моделирований, но вопрос оценки потерь тепловой энергии через изоляцию существующих теплопроводов с учетом фактического состояния теплоизоляционных конструкций остается открытым.

Основа любого проекта по модернизации инженерных сетей – оценка энерго- и ресурсосберегающего эффекта от модернизации. Применительно к тепловым сетям это оценка разности между потерями тепловой энергии до и после реконструкции теплопроводов. Очевидно, что для расчета этого показателя необходимо, прежде всего, иметь достоверные данные о потерях тепловой энергии до модернизации. К сожалению, в настоящее время такая информация отсутствует. Это делает невозможным подготовку надежного технико-экономического обоснования проектов по модернизации тепловых сетей. В таком случае основанием для исследований в этой области является несовершенство известных методик расчета тепловых потерь [2, 4]. Официально утвержденные методики расчета тепловых потерь трубопроводами допускают чрезвычайно большое расхождение между граничными значениями параметров, используемых в расчетах (таблица) [1].

**Поправки к коэффициентам теплопроводности теплоизоляционных материалов  
в зависимости от технического состояния изоляционных конструкций**

Техническое состояние изоляционной конструкции	Поправка
Незначительные разрушения покровного и теплоизоляционного слоев	1,3–1,5
Частичное разрушение конструкции, уплотнение основного слоя на 30...50 %	1,7–2,1
Уплотнение изоляционного слоя сверху и обвисание его снизу	1,6–1,8
Уплотнение основного слоя конструкции на 75 %	3,5
Периодическое затопление канала	3–5
Незначительное увлажнение основного слоя конструкции (на 10...15 %)	1,4–1,6
Увлажнение основного слоя конструкции (на 20...30 %)	1,9–2,6
Значительное увлажнение основного слоя конструкции (на 40...60 %)	3–4,5

В таких условиях расчетные сроки окупаемости проекта по модернизации одной и той же тепловой сети также будут различаться в несколько раз в зависимости от того, какой показатель будет применён в расчетах.

С другой стороны, существует более точный метод с использованием приборов учета. Однако данным методом можно оценить только общие потери тепловой энергии в целом для распределенной сети, что не дает возможности выявить проблемные зоны. Как следствие, возникает необходимость изыскать иной способ для получения достоверных данных о величине потерь тепла трубопроводами при различном состоянии теплоизоляционных конструкций. Без этого невозможно будет составить достоверное ТЭО проектов по модернизации тепловых сетей, что недопустимо, поскольку объем инвестиций для перекладки даже отдельной теплотрассы исчисляется миллионами рублей.

Решение этой задачи может быть получено в два этапа:

1. Типизация основных состояний теплоизоляционных конструкций по результатам обследования трубопроводов тепловых сетей в ходе плановых и аварийных ремонтных работ, а также шурфовок.

2. Лабораторные испытания фрагментов трубопроводов, имеющих различное состояние теплоизоляционного покрытия с одновременной имитацией основных состояний непроходного канала теплотрассы. Данный метод основывается на измерении теплового потока с поверхности изолированного трубопровода датчиками теплового потока и изучении температурных полей в изоляции с помощью термометров сопротивления установленных по сечению изоляционной конструкции.

В результате с высокой точностью будет определена величина фактических потерь тепловой энергии через изоляционные конструкции для различных условий эксплуатации трубопровода и технического состояния теплоизоляционных конструкций. Полученные данные создадут надежную основу для подготовки технико-экономических обоснований проектов по модернизации тепловых сетей. Вторым условием для подготовки ТЭО проектов по модернизации тепловых сетей является оценка величины затрат, необходимых для модернизации. Эта величина во многом будет определяться выбором применяемых инже-

нерных решений, в том числе – выбором вида теплоизоляционных материалов и конструкций.

В свою очередь, производители теплоизоляционных материалов и предизолированных трубопроводов зачастую выпускают материалы, не отвечающие заявленным характеристикам, что в итоге может привести к ухудшению ситуации в сфере теплоснабжения.

Также следует отметить тот факт, что в СНиП 41-02-2003 [3] для трубопроводов группы «а» (теплопроводы в герметичной паронепроницаемой гидрозащитной оболочке) не определены точные значения температуростойкости, а для группы «б» (теплопроводы с паропроницаемым гидрозащитным покрытием) помимо температуростойкости не определены значения паропроницаемости. Данные недоработки в СНиП 41-02-2003 ведут к тому, что производители предизолированных трубопроводов самостоятельно определяют для себя эти критерии и не производят надлежащих испытаний трубопроводов, что приводит к выходу тепломагистралей из строя раньше нормативных сроков эксплуатации.

Сложившаяся ситуация требует независимого контроля качества тепловой изоляции на соответствие требованиям российских и зарубежных стандартов. Помимо этого, стандартные методики испытания в ряде случаев не вполне соответствуют реальным условиям эксплуатации тепловых сетей. Теплопроводность теплоизоляционных материалов определяется по ГОСТ 7076 только в сухом состоянии, без учета увлажнения материала. Между тем, известно, что для отдельных теплоизоляционных материалов теплопроводность может увеличиться в 5 и более раз [5]. Поэтому испытания свойств теплоизоляционных материалов не должны ограничиваться только стандартными методиками. Необходимо испытывать теплоизоляционные материалы в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации тепловых сетей.

Использование не только стандартных методик, но и испытаний в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации тепловых сетей, являются взаимодополняющими. Первые отсеивают заведомо непригодные к применению материалы и конструкции, вторые позволяют достоверно определить величину энергосберегающего эффекта от внедрения новых материалов и конструкций тепловой изоляции, а также прогнозировать сроки эксплуатации теплопроводов.

#### *Библиографический список*

1. МДК 4-03.2001. Методика определения нормативных значений показателей функционирования водяных тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения. Утв. Госстроем России 01.10.01 № 225.
2. СО 153-34.20.523-2003. Методические указания по составлению энергетических характеристик для систем транспорта тепловой энергии по показателям «разность температур сетевой воды в подающих и обратных трубопроводах» и «удельный расход электроэнергии».
3. СНиП 41-02-2003 Тепловые сети.
4. Инструкция по организации в Минэнерго России работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии (утв. Приказом Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 325).



5. Мунябин Л.И., Арефьев Н.Н. К вопросу о методике расчета тепловых потерь при различных вариантах тепловой изоляции / Л.И. Мунябин, Н.Н. Арефьев // Новости теплоснабжения. 2002. № 4. С. 35-38.

## **УСИЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЧЕЛОВЕКА ПОД ВЛИЯНИЕМ МУЗЫКИ**

*Щинова О.В., Ануфриева Е.И.*

*УрФУ*

*[elenanufrieva@rambler.ru](mailto:elenanufrieva@rambler.ru)*

В начале XX века в науке, как в России, так и на Западе произошло качественное изменение в подходе к живым организмам, в том числе и человеку, как открытым планетарным системам, обменивающимися с внешним миром веществом и энергией, то есть как энергетическим системам. О человеке как части энергетической структуры Космоса впервые поставили вопрос русские ученые-космисты: В.И. Вернадский, А.Л. Чижевский, В.М. Бехтерев, К.Э. Циолковский [1]. В настоящее время исследования по изучению энергетических ресурсов человека активно продолжаются. Современная наука рассматривает человека в его целостности, в том числе и как энергетическую систему, которая не только производит собственную энергию, но и аккумулирует энергии извне и трансформирует эти энергии, то есть обладает определенными энергетическими ресурсами. В 60-х годах возникла новая отрасль науки – биоэнергетика [2], изучающая механизмы преобразования энергии в процессах жизнедеятельности организмов. Одним из основных результатов развития биоэнергетики в последние десятилетия является установление единообразия энергетических процессов во всём живом мире – от микроорганизмов до человека.

Одним из перспективных электрографических методов исследования состояния энергетических ресурсов человека является метод Газоразрядной Визуализации или Биоэлектрографии (ГРВ) [3]. Метод ГРВ - это компьютерная регистрация и анализ свечений, индуцированных объектами, в том числе и биологическими, при стимуляции их электромагнитным полем с усилением в газовом разряде. Параметры газоразрядного изображения зависят от свойств исследуемого объекта и таким образом, анализируя характер свечения индуцированного объектами, появляется возможность судить об энергетическом состоянии объекта в конкретный момент. Метод основан на известном эффекте Кирлиан ("высокочастотное фотографирование"). При этом основное отличие метода ГРВ от Кирлиановской фотографии состоит в компьютерной обработке, основанной на современных математических методах и концепциях, и извлечении конкретного заключения для дальнейшего анализа или экспертных оценок.

Метод ГРВ успешно апробирован многолетней практикой применения программно-аппаратного комплекса "ГРВ Камера" в различных учреждениях. На сегодняшний день метод ГРВ получил признание во всем мире. Основным источником формирования изображения - это газовый разряд вблизи поверхности исследуемого объекта.

Задачей настоящего исследования явилось изучение влияния музыки на энергетический потенциал человека методом ГРВ.

О благоприятном влиянии музыки на человека известно с древних времен. Звуки исцеляют и укрепляют, возвышают и воодушевляют, волнуют и радуют, успокаивают и умиротворяют. Свойство музыки влиять на состояние человека применяется сейчас в терапевтических сеансах, рекламе, кино и т.д. [4]. В начале XX века было экспериментально доказано, что музыкальные звуки заставляют вибрировать каждую клетку нашего организма, электромагнитные волны воздействуют на изменение кровяного давления, частоту сердечных сокращений, ритм и глубину дыхания. Не случайно в современной медицине всё большее распространение получает наряду с традиционными методиками и музыкотерапия.

Для изучения влияния музыки были выбраны следующие направления музыки: классическая; звуки природы; рок; любимая музыка.

Энергетический потенциал человека выявляется на ГРВ-снимках в различной площади, яркости и плотности свечения. Анализ ГРВ-грамм после проведения экспериментов показал, что музыка изменяет энергетический потенциал, оказывая влияние на психоэмоциональное состояние испытуемого. Так, классическая музыка увеличивает яркость и плотность свечения, заметно уменьшает пробелы в свечении (усиливает энергетический потенциал), тогда как рок-музыка влияет иначе – свечение становится более слабым, появляются разрывы в таких системах, как эндокринная, надпочечниках, гипофизе, что говорит об уменьшении энергетического потенциала и об отрицательном воздействии на организм испытуемого.

Музыка, которая не нравилась испытуемым, подействовала на них однозначно, вызвав дискомфорт, состояние нервозности, стресс организма, что на снимках отразилось в уменьшении площади и яркости свечения и изменении многих параметров. Музыка, которая являлась любимой для испытуемых, усилила мощность энергетического потенциала, что на ГРВ-снимках проявилось в увеличении общей площади свечения и его яркости. Положительно влияют и звуки природы, увеличивая энергетический потенциал испытуемых.

Таким образом, результаты исследования подтвердили, что музыка влияет на человека, изменяя его энергетический потенциал, что сказывается на ГРВ-граммах в изменении плотности, яркости и площади свечения. ГРВ-метод позволяет подойти к исследованию организма человека как сложнейшей энергетической системе с учетом ее эмоциональной и духовной составляющей, поэтому он востребован и в современной медико-биологической практике, и в психологии. Анализируя состояние энергетики, можно учиться рационально использовать энергетический потенциал и сознательно контролировать состояние своей энергосистемы, понимая, какое мощное воздействие оказывают на человека окружающая природная и социальная среда.

#### *Библиографический список*

1. Шапошникова Л.В. Исторический процесс как космическое явление. // Мудрость веков. - М.: Мастер-банк, 1996. 479 с.
2. Скулачев В.П. Законы биоэнергетики // СОЖ. 1997. № 1. С. 9-14.
3. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2001. 360 с.
4. Шанских Г. Музыка как средство коррекционной работы // Искусство в школе. 2003. № 5.

# **МНОГОСЛОЙНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ С ГИГАНТСКИМ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫМ ЭФФЕКТОМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В УСТРОЙСТВАХ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА**

*Юферов С.В., Макаров В.М., УрФУ;  
Ромашев Л.Н., Миляев М.А.,  
Институт физики металлов УрО РАН;  
Сычугов Е.М.,  
НПК ВИП (НПО автоматики)*

В литературе [1-4] анализируются возможности и основные закономерности управления спиновым транспортом электронов проводимости в планарных магнитных наноструктурах. Рассмотрены магнитотранспортные свойства сверхрешеток из ферромагнитных и немагнитных металлов, демонстрирующих эффект гигантского магнитосопротивления, обусловленный спиновой зависимостью скорости диссипации импульса носителей заряда в ферромагнитных слоях. Описаны результаты исследования явления спиновой инжекции электронов в гетероструктурах ферромагнитный проводник/полупроводник, приводящей к формированию активной двухуровневой спиновой среды и возможности генерации излучения лазерного типа, управляемого по частоте магнитным полем. Представляются разработанные прототипы спинтронных устройств.

Многослойные магнитные наноструктуры, обладающие гигантским магнитосопротивлением (ГМС), обусловленным спиновой зависимостью времени релаксации импульса носителей заряда в ферромагнитных слоях, являются перспективными материалами для создания различного рода магнитных сенсоров. Одним из основных факторов, определяющих свойства магниторезистивных сенсоров, является магнитное упорядочение слоев, определяемое межслойным магнитным взаимодействием. Обменное взаимодействие магнитных слоев зависит от электронной структуры компонент и атомной структуры интерфейсов. Последняя является определяющим фактором в формировании биквадратичного межслойного обмена, величина которого по отношению к билинейному обмену определяет характер неколлинеарного межслойного магнитного порядка в сверхрешетке. Нами реализована возможность получения магнитных сверхрешеток Fe/Cr с управляемым неколлинеарным упорядочением магнитных моментов слоев Fe, демонстрирующих эффект гигантского магнитосопротивления. Использована технология молекулярно-лучевой эпитаксии, обеспечивающая возможность контроля за структурой магнитных нанослоев и интерфейсов на уровне атомного монослоя.

Получены и исследованы ГМС-наноструктуры со сверхтонкими слоями Fe, состоящими из слабо взаимодействующих магнитных кластеров и демонстрирующими суперпарамагнитное поведение в широкой области полей и температур. Вид зависимости электросопротивления от магнитного поля определяется степенью неколлинеарности магнитных моментов слоев. Получены наноструктуры с гигантским магнитосопротивлением, близким к линейному в широком диапазоне магнитных полей. На их основе создан прототип широкодиапа-

зонных сенсоров магнитного поля. Величина магнитосопротивления на линейном участке изменения сопротивления – до 20 % при комнатной температуре, чувствительность – 0,5 %/кЭ.

Полученные наноструктуры позволяют совершенствовать технологии учета передачи электроэнергии в высоковольтных сетях и контроля их технического состояния путем модернизации измерительных комплексов электроэнергии. Планируется разработать на базе многослойных магниточувствительных наноструктур измерители тока и напряжения для использования их вместо широко применяемых в настоящее время измерительных трансформаторов тока и напряжения (содержащих эл.-техн. стали). Это позволит значительно повысить точность измерений, а также снизить металлоемкость оборудования и потери электроэнергии в электросетях. Отметим, что магниторезистивные сенсоры уже широко применяются в различных приборах и устройствах. В последние годы продолжаются научные и технологические работы по улучшению функциональных характеристик такого типа сенсоров в широком диапазоне магнитных полей и температур. В настоящее время организации соисполнители проекта (УрФУ, ИФМ УрО РАН и НПО автоматики) проводят организационно-технические мероприятия для решения следующих задач:

- разработать на базе магниторезистивных наноструктур первичные преобразователи для измерения тока и напряжения в высоковольтных линиях электропередач (ЛЭП);
- создать электронные устройства для обработки и передачи этих сигналов в проектируемые автоматизированные информационно-измерительных системы контроля и учета электроэнергии, осуществляющих непрерывные измерения в реальном режиме времени текущих значений тока и напряжения в высоковольтных сетях, а также измерение разности фаз между напряжениями на разных концах ЛЭП;
- разработать методику диагностики технического состояния высоковольтного электрооборудования электрических сетей, прогнозирования отказов и выявления предвестников аварийных ситуаций.

### *Библиографический список*

1. Ромашев Л.Н., Ринкевич А.Б., Устинов В.В., Ювченко А.А., Бурханов А.М. Сенсоры магнитного поля на основе сверхрешеток Fe/Cr // Дефектоскопия. 2001. № 7. С. 3-12.
2. Пат. на изобр. RU № 2316078 С1 Магниторезистивный датчик / Устинов В.В., Ромашев Л.Н., Ювченко А.А., Васьковский В.О., Турицин А.Н. Приоритет от 13.10.2006 г., дата выдачи 27 января 2008 г. Институт физики металлов УрО РАН.
3. Ринкевич А.Б., Ромашев Л.Н., Кузнецов Е.А. Измерение высокочастотного гигантского магнитосопротивления наноструктур в режиме бегущих волн // Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51. № 1. С. 93-99.
4. Устинов В.В., Ринкевич А.Б., Ромашев Л.Н. Гигантское магнитосопротивление сверхрешеток железо/хром на сверхвысоких частотах (06;09;12) // Журн. техн. физ. 2006. Vol. 74. № 5. С. 94-100.

# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА

Юферев С.В.<sup>1)</sup>, Макаров В.М.<sup>1)</sup>, Соболев А.С.<sup>2)</sup>

1) УрФУ, [mvm538@yandex.ru](mailto:mvm538@yandex.ru)

2) Институт физики металлов УрО РАН

## *Введение*

Требования надежного энергообеспечения потребителей и эффективного (действенного) энергосбережения обозначили проблему повышения конкурентоспособности (эффективности) энергетики в рыночных условиях. Решение этой проблемы непосредственно связано с корректным учетом электроэнергии. Основным первичным звеном в системе учета являются применяемые средства измерения, в частности измерительные трансформаторы тока (ИТТ) различных классов точности.

Широкое применение ИТТ в различных областях энергетики вызывает необходимость повышения их метрологических характеристик с одной стороны и снижения технико-экономических затрат на изготовление этих средств измерений (СИ) с другой стороны. Улучшение метрологических характеристик ИТТ позволяет, в частности, повысить эффективность учета электроэнергии тока путем снижения погрешностей измерений. Оптимизации условий намагничивания магнитного материала ИТТ в процессе преобразование вторичного тока обеспечивает экономию электроэнергии. В последнее время находят все большее применение в составе ИТТ аморфные сердечники, то есть изготовленные из аморфных магнитных материалов. Одним из перспективных направлений по повышению эффективности работы ИТТ является термоманитная обработка (ТМО) материала сердечников. Следует особо отметить, что ТМО могут быть подвергнуты непосредственно уже изготовленные сердечники, что устраняет неконтролируемое влияние на магнитные характеристики материала условий создания сердечников.

Целью работы является применение установки термоманитной обработки [2] для улучшения параметров измерительных трансформаторов тока.

## *Часть 1. Структурная схема установки термоманитной обработки*

Установка термоманитной обработки (УТМО) предназначена для улучшения эксплуатационных свойств широкого круга твердотельных объектов. С применением УТМО могут проводиться экспериментальные работы по комплексному и длительному воздействию средних магнитных полей ( $B_{\max} = 0,16$  Тл) и высоких температур (до 1200 °С) на широкий круг материалов и изделий в парамагнитном и ферромагнитном состояниях [1].

Применяются два способа ТМО: обработка в продольном и поперечном магнитном поле. В первом случае направления поля и оси изделия совпадают, а во втором случае направление поля перпендикулярно оси.

Структурная схема автоматизированной УТМО приведена на рисунке.

ТМО проводилась на кольцевом сердечнике диаметром 50 мм, навитом из ленты аморфного материала толщиной 0,02 мм; напряженность поперечного

магнитного поля, приложенного к сердечнику 50 кА/м; температура ТМО 120 °С; время выдержки 10 мин.

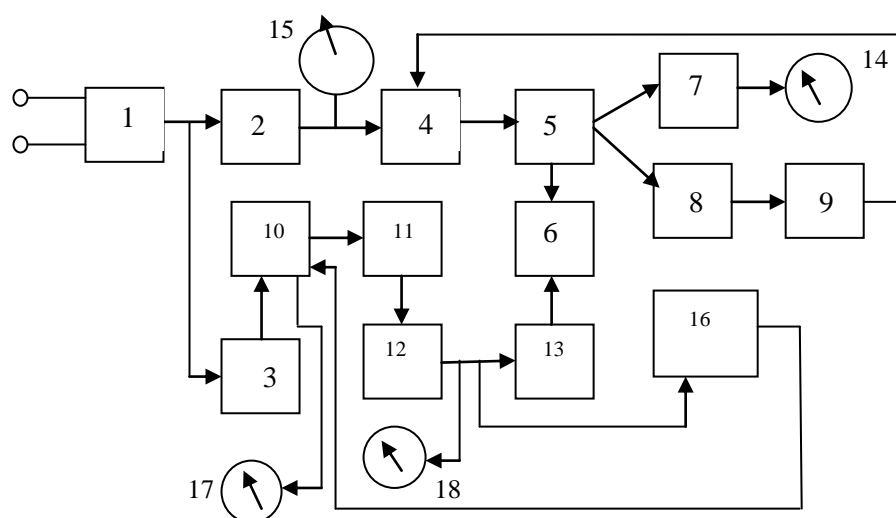


Рис. 1. Структурная схема установки ТМО

1 - сетевой автоматический выключатель, 2 - автоматический выключатель нагревателя, 3 - автоматический выключатель соленоида, 4 - автоматический коммутатор нагревателя, 5 - нагреватель, 6 - рабочий объем установки совместно-параллельной ТМО, 7 - датчик температуры для измерения температуры рабочего объема установки, 8 - датчик температуры для регулирования температуры, 9 - регулятор температуры, 10 - тиристорный регулятор мощности, 11 - нагрузочный трансформатор (НТ), 12 - силовой выпрямитель, 13 - соленоид, 14 - термометр - вторичный прибор, 15 - приборы контроля тока и напряжения нагревателя, 16 - регулятор тока соленоида, 17 - амперметр первичного тока НТ, 18 - шунт и амперметр измерения тока соленоида

#### *Выводы:*

1. Применение УТМО для модифицирования изготовленных кольцевых сердечников из перспективного аморфного материала существенно улучшило метрологические характеристики ИТТ: снижение токовой погрешности более чем в 1,5 раза, угловой - 1,3 раза, уменьшение удельных магнитных потерь в 1,5 раза.

2. ТМО существенно уменьшает погрешности ИТТ, что позволяет обеспечить необходимую точность работы автоматизированных информационно-измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ) и сберегать энергопотребителям финансовые ресурсы при работе на оптовом рынке электроэнергии и мощности (ОРЭМ).

#### *Библиографический список*

1. Гусман А.И., Арцишевский М.А. Термомагнитная обработка железоникелевых сплавов. М.: Металлургия, 1984, 93 с.
2. Соболев А.С., Макаров В.М., Кузнецова Л.П. Структура системы автоматизированного регулирования параметров установки термомагнитной обработки сердечников измерительных трансформаторов тока // Энергетика настоящего и будущего: Сборник материалов I Евроазиатской выставки и конференции, 16-18 февраля 2010. Екатеринбург: УГТУ-УПИ. 2010. С. 142-144.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ЩЕЛЕВЫХ ГАЗОГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ПОМОЩИ ЭВМ

Яковлев В.А.  
ГОУ ВПО «СПбГАСУ»  
yakovlevspb@rambler.ru

В целях повышения безопасности работы и КПД отопительных котлов, а также тепловых установок, работающих на газовых видах топлива иного назначения, необходимо создать условия обеспечивающие рост теплообменных процессов, отвечающих за полноту использования химической энергии топлива. Для этого необходимо создать наибольшую площадь излучающей поверхности факела, обеспечивающую наибольшее значение направляющегося к экранным поверхностям теплового потока, максимальную степень заполнения топки пламенем, при которой соблюдается невозможность его контакта с холодными поверхностями нагрева, что способствует отложению на них сажистого углерода и появлению химической неполноты сгорания.

Двухтрубные щелевые горелки с принудительной подачей воздуха дают узкий вытянутый в длину факел, позволяющий повысить равномерность нагрева экранных поверхностей, что увеличит срок их службы и создаст условия равномерного нагрева циркулирующего теплоносителя.

Обеспечение эффективности их работы обуславливается качественным расчётом основных конструктивных элементов, к которым относятся: длина щелевого канала, диаметр, количество и шаг огневых отверстий горелки. Качество расчёта контролируется построением геометрических аэродинамических характеристик газовых струй, распределяющихся в сечении щелевого канала, где струи принимают направление параллельное его центральной оси.

Усовершенствование методики с использованием современной вычислительной техники позволит повысить эффективность работы спроектированного газогорелочного устройства, что скажется на увеличении КПД котла на 2...3,5 %. Это обеспечивается значительным улучшением подготовки равномерного состава газозоудшной смеси в щелевом канале, что сказывается на снижении высоты пламени и  $\alpha$ . С этой целью написана программа, позволяющая выполнять расчёт щелевых горелок с использованием методики, разработанной Ю.В. Ивановым, являющейся на данный момент единственным фундаментальным экспериментально проверенным расчётным методом [3].

Программа выполняет расчёт тремя различными подходами к решению данной задачи: методом прямого пути, методом подбора, поверочный расчёт горелки.

Основными исходными данными являются: тепловая нагрузка котла  $Q_k$ , МВт (Гкал/ч); коэффициент полезного действия котла  $\eta$ ; давление газа перед горелкой  $P_r$ , Па (мм вод. ст.); теплота сгорания газа  $Q_H^p(Q_B^p)$ , кДж/нм<sup>3</sup> (ккал/нм<sup>3</sup>); плотность воздуха при нормальных физических условиях (н. ф. у.)  $\rho_B$ , кг/м<sup>3</sup>; коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ ; радиус горелочной трубы  $r$ , мм; угол

между осями горелочных отверстий  $\beta$ , °; ширина щели  $B$ , мм; плотность газа при н. ф. у.  $\rho_g$ , кг/м<sup>3</sup>.

На рис. 1 *а* показан разрез горелки, на рис.1 *б* – продольный разрез щелевого канала с развивающимися внутри него струями.

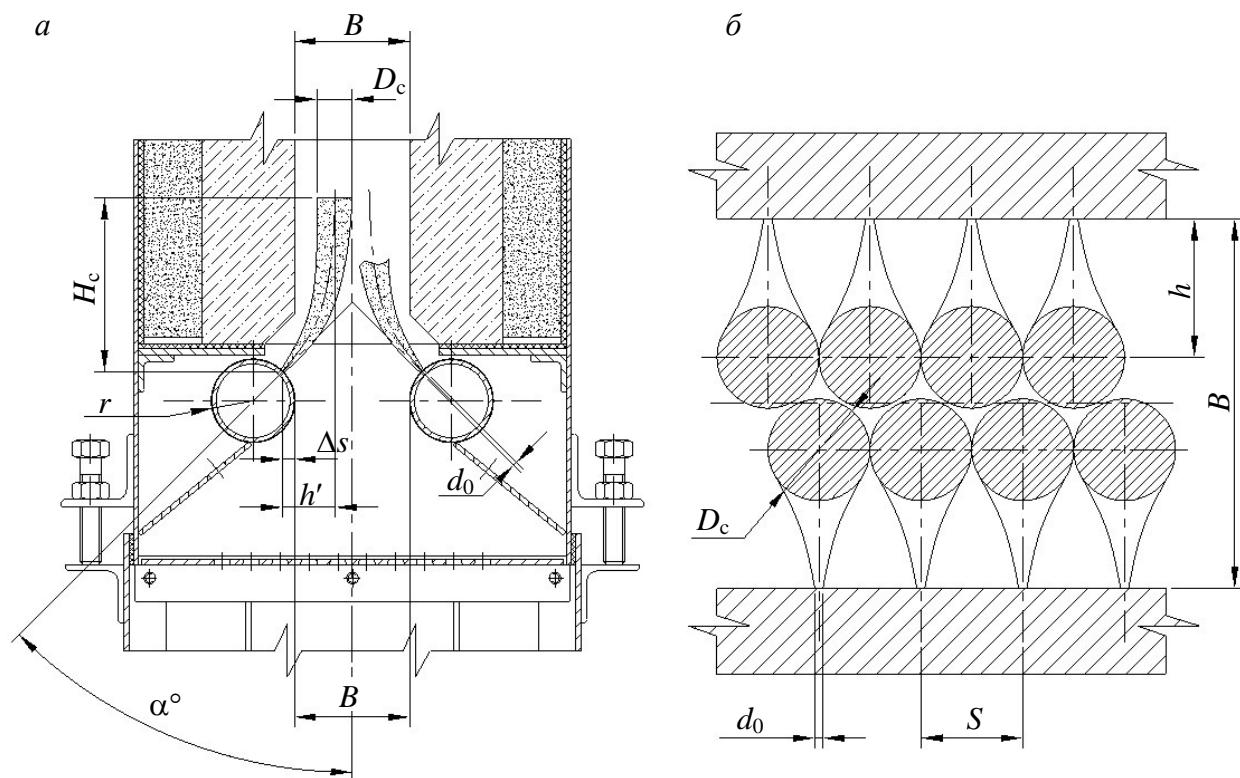


Рис. 1. Схема распределения потоков газовых струй в поперечном ограниченном потоке воздуха в щелевом канале горелки: *а* – вертикальный разрез горелки; *б* – продольный разрез щели, выполненный в горизонтальной плоскости канала

Метод прямого расчёта выполняет расчёт горелки строго по методике Ю.В. Иванова и может применяться только для определения длины щелевого канала, а также количества огневых отверстий горелочной трубы горелки в зависимости от заранее заданной нагрузки котла. При расчёте по этому методу программа строит, но в расчётах не учитывает распределение струй по сечению щелевого канала. При расчёте прямым путём в ячейки ввода исходных данных вводятся помимо вышеприведённых основных исходных данных, использующихся для любого типа варианта расчёта, диаметр  $d_0$  и шаг огневых отверстий  $S$ .

На рис. 2 представлено окно вывода расчётных данных методом подбора.

Результатами расчёта прямым путём являются определение количества огневых отверстий и длины щелевого канала горелки, а также вывод числовых значений и построение геометрических характеристик потоков газовых струй в сечении щелевого канала.



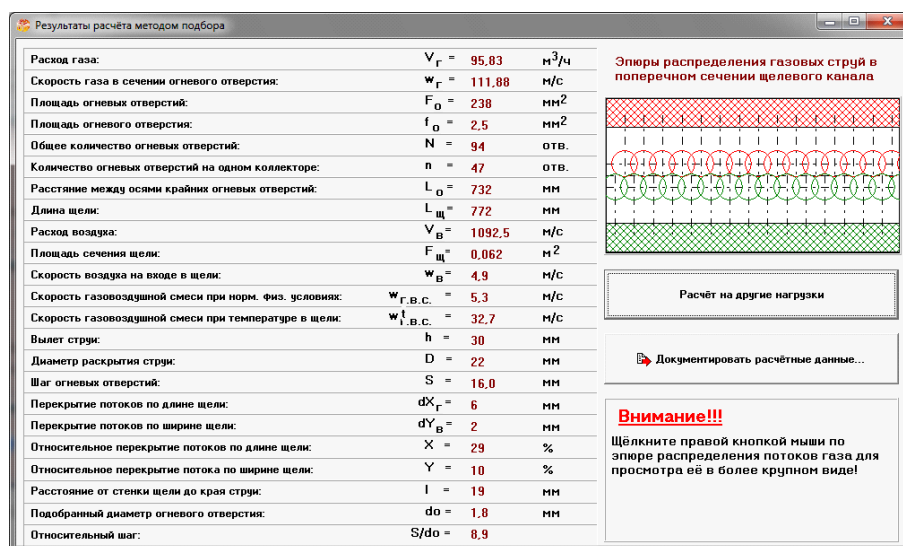


Рис. 2. Окно вывода исходных данных программы

Расчёт методом подбора является основным расчётным методом программы, который может использоваться для расчёта всех основных элементов горелки с использованием минимального набора исходных данных. Программа выполняет расчёт, учитывая геометрические параметры газовых струй, выходящих из огневых отверстий, где к основным выше представленным исходным данным добавляется отношение перекрытий газовых струй в продольном и поперечном положении сечения щелевого канала, где струи принимают направление движения вдоль оси щелевого канала, спутное воздушному потоку.

Поверочный расчёт горелки принимает максимальное количество исходных данных, в том числе шаг, диаметр и количество огневых отверстий, а также длину и ширину щели. Программа выполняет построение геометрической характеристики газовых струй и осуществляет вывод всех основных её параметров. Данный расчёт может быть использован для оценки работы существующего или спроектированного щелевого горелочного устройства. Также программа осуществляет построение графической зависимости расхода газа через горелку и скорости газа в проходном канале огневых отверстий от давления газа перед горелкой.

Программа представляет собой распределённое приложение, устанавливаемое и работающее в среде *Windows*. Сохранение всех введённых исходных данных и результатов расчёта, программа осуществляет в *Microsoft Word*.

Разработанная программа позволяет сократить время для конструктивного расчёта горелки и подобрать оптимальный вариант для эффективного сжигания газа.

### Библиографический список

1. Михеев В.П. Газовое топливо и его сжигание. Л.: Недра, 1966. 328 с.
2. Стаскевич Н.Л., Северинец Г.Н., Вигдорчик Д.Я. Справочник по газоснабжению и использованию газа. Л.: Недра, 1990. 762 с.
3. Иванов Ю.В. Газогорелочные устройства. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Недра, 1972. 276 с.

## СНИЖЕНИЕ МЕТАЛЛОЁМКОСТИ СИСТЕМ ДЕЖУРНОГО ОТОПЛЕНИЯ

*Акулич Е.В., Боброва Ю.Р., Толстова Ю.И.*

*УрФУ*

*e-mail: rudnik@mail.ustu.ru*

В холодный период года в общественных, административно-бытовых и производственных помещениях отапливаемых зданий, когда они не используются, необходимо поддерживать температуру внутреннего воздуха ниже нормируемой в рабочее время, но не ниже 5 °С.

Так, многие промышленные предприятия работают в две смены. В рабочее время тепловыделения от технологического оборудования могут компенсировать потери тепла через ограждающие конструкции и дополнительного отопления не требуется. В нерабочее время для поддержания минимальной температуры внутреннего воздуха используются системы дежурного отопления, которые могут быть водяными, паровыми либо воздушными.

Выбор системы дежурного отопления должен определяться на основании сравнения вариантов по технико-экономическим показателям. Рассмотрим два варианта систем дежурного отопления отделения горячего цинкования размерами 132х18 м, работающего в две смены:

- I вариант - система водяного отопления с местными нагревательными приборами - регистрами из гладких труб;

- II вариант - воздушное отопление отопительно-вентиляционными агрегатами.

Расчётами было определено, что для дежурного отопления данного объекта по I варианту необходимо установить 28 двухрядных регистров с диаметром труб 150 мм. Для II варианта потребуется 5 отопительных агрегатов АО2-4-01 УЗ.

При определении капитальных затрат для каждого варианта учтены затраты на прокладку трубопроводов, установку арматуры, стоимость труб, отопительно-вентиляционных агрегатов и стоимость изготовления регистров.

Годовые эксплуатационные расходы включают затраты, ремонт, оплату труда, амортизационные отчисления, управление, охрану труда. Кроме того, при расчёте годовых эксплуатационных расходов для II варианта учтены затраты на электроэнергию, потребляемую электродвигателями при работе отопительных агрегатов. Так как расход и стоимость тепловой энергии для обоих вариантов одинаковы, этот вид затрат не учитывается.

Приведённые затраты П рассчитывались с использованием нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений  $E_n$  по формуле:

$$П = Г + E_n K,$$

где Г - годовые эксплуатационные расходы, руб./год; К - капитальные затраты, руб.

Значение нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений  $E_n$  принято равным 0,125 1/год, исходя из срока окупаемости 8 лет. Полученные результаты сведены в таблицу.

### Экономическое сравнение вариантов

№ показателя	Показатель	Единица измерения	I вариант - водяное отопление	II вариант - воздушное отопление
1	Капитальные затраты	тыс. руб.	170,5	137
2	Эксплуатационные расходы	тыс. руб./год	26,5	39,3
3	Приведённые затраты	тыс. руб./год	48	56,4
4	Годовой экономический эффект	тыс. руб./год	8	

При сопоставлении затрат, приведённых в таблице, было установлено, что капитальные затраты на устройство системы водяного отопления на 33,5 тыс. руб. выше, чем для системы воздушного отопления отопительно-вентиляционными агрегатами. Эксплуатационные расходы при воздушном отоплении выше за счёт высокой стоимости электроэнергии.

По величине приведённых затрат варианты оказались практически равно экономичными (расхождение не превышает 8,5 %), и годовой экономический эффект незначительный. Однако при воздушном отоплении существенно снижается металлоёмкость системы. Общая длина труб составляет 160 м, в то время как при отоплении регистрами она составляет около 900 м с учётом длины труб регистров. Таким образом, металлоёмкость системы воздушного отопления более чем в 5 раз ниже.

Кроме того, снижается потребность в арматуре, а также трудоёмкость работ. Следует отметить также, что системы воздушного отопления удобнее в эксплуатации и регулировании, что позволяет осуществлять мероприятия по энергосбережению с учётом графика работы предприятия и метеоусловий.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИКАТНЫХ КРАСОК НА ОСНОВЕ ЖИДКОГО КАЛИЕВОГО СТЕКЛА

*Акулова А.В., Мананкова Е.С., Детков Д.Г., Бокман Г.Ю., Власова С.Г.  
ОАО «Русский магний», УрФУ  
E-mail: htss@fsm.ustu.ru*

Растворимые стекла представляют собой вещества в стеклообразном состоянии, характеризующиеся определенным содержанием и соотношением оксидов  $Me_2O$  и  $SiO_2$ , которое называется силикатным модулем, его значение лежит в интервале 2,6...3,5.

Производство жидкого стекла из силикат-глыбы – самый распространенный способ получения жидкого стекла в промышленных масштабах. Капитальные и эксплуатационные затраты из-за высокой стоимости стекловаренных печей и их ремонта в этом случае значительны. Есть другие способы получения жидкого стекла, менее энергозатратные.

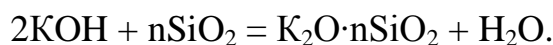
В мировой и отечественной практике переработки минерального сырья все большее значение приобретает комплексность его использования, что обусловлено не только совершенствованием технологии обогащения, но и ужесточени-

ем экологических норм путем увеличения штрафных санкций за утилизацию и складирование техногенных отходов.

В настоящее время экспериментальный центр предприятия «Русский магний» реализует проект переработки отходов сухого обогащения асбестовых руд, основой которых является минерал серпентинит ( $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ ). При комплексной переработке серпентинита можно получить металлический магний, жидкое натриевое и калиевое стекло, осажденный кремнезем, железоокисный пигмент, никелевый концентрат, сульфат натрия или калия. Таким образом, получается ресурсосберегающее безотходное производство.

Разработка технологии получения красок на основе жидкого стекла является важной задачей, а тема, несомненно, актуальной.

Способ получения жидкого стекла на основе серпентинитовых горных пород основан на прямом растворении кремнезема в растворе гидроксида калия по уравнению



Получение жидкого стекла из остатка после выщелачивания (ОПВ) серпентинита соляной кислотой, т. е. «мокрым способом», осуществляется при температуре 90...95 °С, минуя высокотемпературный процесс сплавления с содой. Остаток после выщелачивания содержит малое количество примесей, так как большая часть из них при переработке серпентинита соляной кислотой остается в хлормagneиовом растворе, что позволяет получать высококачественное стекло.

Как показали практические исследования, фильтрация жидкого стекла протекает в достаточной мере (90...95 %) при плотности 1,4 г/см<sup>3</sup>. Стекло такой плотности получается при использовании десятипроцентного раствора калийной щёлочи.

Итак, технологическая схема получения жидкого стекла включает следующие стадии процесса: промывка остатка после выщелачивания серпентинита соляной кислотой в пульсационной колонне; фильтрация остатка после выщелачивания серпентинита соляной кислотой; сушка остатка после выщелачивания при 100...105 °С; приготовление раствора гидроксида калия концентрацией 10 %; растворение кремнезема (ОПВ) в растворе гидроксида калия при 90...95 °С и атмосферном давлении; отделение нерастворившегося осадка фильтрованием; промывка осадка на фильтре водой.

Варка осуществлялась в реакторе периодического действия, снабженного мешалкой, которая обеспечивает такое интенсивное перемешивание.

Используя аналитические методы анализа, определили плотность, массовую долю диоксида кремния и оксида калия, силикатный модуль и количество нерастворимых в воде веществ - важные показатели качества жидкого стекла.

Жидкое стекло, полученное таким способом, отличается от стекол, изготовленных автоклавным методом, более высоким модулем (в данном случае он равняется 3,0...3,2), низкой концентрацией примесей. Все характеристики соответствуют ГОСТ 13078-81. Результаты испытаний показали принципиальную возможность использования жидкого стекла в различных отраслях промышленности.

В лаборатории экспериментального центра ОАО «Русский магний» исследуются возможности получения силикатных красок на основе высококачественного калиевого стекла, проводятся испытания. Силикатные краски долговечны по сравнению с другими лакокрасочными материалами, их применение помогает удешевить стоимость строительных сооружений за счет длительной их эксплуатации, сократить потери от коррозии, т. к. краски обладают водоотталкивающими свойствами. Экономический эффект будет возможен при точном соблюдении технологии их изготовления и применения.

Силикатные краски представляют собой суспензию: пигменты, наполнители, отвердители и другие добавки - в водном растворе силикатов щелочных металлов, в данном случае, в растворе трехмодульного силиката калия, т.е. в сплаве, состоящем из одной молекулы оксида калия и трех молекул оксида кремния. Растворенный в воде силикат можно отнести к неорганическим полимерам, молекулы которого обладают значительным молекулярным весом и способны в определенных условиях к дальнейшей полимеризации. После нанесения на окрашиваемую поверхность жидкое стекло вступает в химическое взаимодействие с материалом основания и пигментной частью краски, в результате чего его растворимость уменьшается и начинается процесс дальнейшей полимеризации силиката.

Процесс приготовления заключается в следующем: в жидкое стекло постепенно добавляют сухую краску, перемешивают, готовую смесь процеживают на вибросите. Жизнеспособность таких составов, готовых к употреблению, невелика, поэтому их рекомендуется поставлять на производство в двухтарной упаковке, а после смешения жидкого стекла с пигментной смесью немедленно использовать по назначению.

Пигментная смесь готовится из молотых сухих материалов, дисперсность которых зависит от назначения краски; пигменты для фасадных красок должны быть более грубого помола (полностью проходить через сито с 600 отв/см<sup>2</sup>). Кроме того, рекомендуется вводить в пигментную смесь для фасадных красок грубодисперсные материалы с диаметром зерна 100...300 мкм в количестве 10...15 %, это могут быть минералы (молотый песок, фосфоритовая мука, пемза, мрамор и т. п.). Хорошие результаты дает также использование в силикатных красках мелкодисперсных добавок. При наличии фракции мелкодисперсного наполнителя (размолотый мел, известняк, бокситы) красочное покрытие становится более плотным, частицы пигмента лучше склеиваются между собой, ориентация молекул кремнекислоты становится более совершенной, все это приводит к увеличению прочности и долговечности окрашенных покрытий. В ряде случаев такой добавкой может быть диоксид титана, цинковые белила, соли хромовой кислоты. Количество такой добавки не должно превышать 20 % веса пигментной смеси из-за опасности образования трещин.

После смешения жидкого стекла с пигментами вязкость краски начинает постепенно возрастать, затем краска «желатинизируется» и переходит в нерастворимое состояние. Загустевшая краска теряет свои ценные свойства, становится непригодной к употреблению. Поэтому пигменты, очень быстро реагирующие с жидким стеклом, не пригодны для получения силикатных красок.

Испытания показали, что наилучшие результаты получаются при использовании красок, которые после их изготовления желатинизируются не ранее 30 и не более 100 часов. После нанесения их на окрашиваемую поверхность процесс ускоряется углекислотой воздуха, и они становятся нерастворимыми через 2...10 часов.

Важно еще раз подчеркнуть, что в качестве сырья в данном случае используются отходы производства, что благоприятно с экологической точки зрения. С экономической точки зрения получение жидкого стекла этим методом не требует больших капитальных вложений по сравнению с автоклавным способом, позволяет сократить расход топлива и время на стеклообразование, что, в конечном итоге, определяет низкую себестоимость готового продукта.

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИСЛОЙНЫХ ЭКРАНИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ПЛАСТМАССАХ**

*Алиханова И.А.  
УрФУ  
[cherrytree@bk.ru](mailto:cherrytree@bk.ru)*

В современном мире используется бесчисленное количество различных приборов, каждый из которых является источником электромагнитного излучения. Это излучение зачастую не оказывает положительного влияния как на близко расположенные приборы, так и на человека. Существующие способы химической металлизации пластмасс представляют собой многостадийный технологический процесс, требующий применения дорогостоящих реактивов (хлорид палладия).

Было предложено использовать медьнаполненные композиции в качестве грунтовочного подслоя для создания электромагнитных экранов на корпусах из пластмассы методом гальванического осаждения полислойных металлических покрытий [1]. Медьнаполненные композиты (МНК) представляют собой смесь органического связующего и медного порошка. Частицы медного порошка на поверхности краски играют роль центров кристаллизации, на которых при наложении внешнего тока начинается кристаллизация осадка. Чем быстрее происходило распространение осадка, тем более тонкие сплошные слои металла можно получить. Поэтому в качестве критерия возможности нанесения тонких слоев металла, рассматривали скорость «затяжки» поверхности.

Целью настоящей работы является исследование процесса электрокристаллизации металлов на неэквипотенциальной поверхности медьнаполненного композита для выбора условий и режима нанесения полислойных наноструктурированных экранирующих покрытий.

Было исследовано влияние различных факторов на скорость распространения осадка: гранулометрические свойства медного порошка и способность его к активации, тип токоподвода, наличие блескообразующей добавки в электролите (величина рассеивающей способности электролита), сила тока. По полученным результатам можно сделать вывод, что использование полидисперсного медного порошка с развитой поверхностью, применение электролитов с

высокой рассеивающей способностью, высокие плотности тока позволяют интенсифицировать процесс затяжки, использование точечных токоподводов в нескольких местах позволит получить качественное покрытие по всей поверхности образца.

Были разработаны модельные представления, позволяющие рассчитать изменение поляризации в ходе затягивания поверхности плохопроводящего композита осадком металла по кинетическим характеристикам электроосаждения металлов и структурным показателям осадка. В модели учитывается изменение рабочей поверхности электрода в процессе роста осадка при точечном и линейном токоподводах [2].

Получено хорошее соответствие экспериментальных и расчетных хронопотенциограмм при электрокристаллизации меди и никеля на медьнаполненные основы. При этом сходимость была лучше в случае точечного токоподвода, по сравнению с линейным.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на основе модели можно прогнозировать скорость распространения осадка металла вдоль поверхности электрода и подбирать условия нанесения тонких слоев металлов.

Также была проведена оценка экранирующих свойств полученных покрытий: по степени ослабления электромагнитного поля они соответствуют требованиям, предъявляемым к электромагнитным экранам.

Использование данной технологии для создания электромагнитных экранов позволит наносить их на корпуса любых форм и размеров, при этом значительно снизив их себестоимость за счет сокращения числа технологических операций с 5 до 3 стадий и стоимости реагентов. Становится возможным исключить операцию изоляции внешней поверхности корпуса. В связи с тем, что на МНК наносятся сверхтонкие слои металлов, снижается расход металла, что также сказывается на стоимости экрана.

#### *Библиографический список*

1. Рудой В.М., Останина Т.Н., Даринцева А.Б., Останин Н.И., Штырба Н.И., Алиханова И.А. и др. Электролитическое осаждение меди на плохопроводящие основы // Гальванотехника и обработка поверхности. 2009. Т. XVII. № 2. С. 17-23.
2. Рудой В.М., Останина Т.Н., Даринцева А.Б., Демаков С.Л., Алиханова И.А. и др. Электроосаждение меди на металлнаполненную композитную основу // Электрохимия. 2010. Т. 46. № 6. С. 747-752.

## **ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ УРАЛА**

*Анкудинов А.В., Васильев Г.Л., Старогородцева Ю.В.  
Уральский государственный лесотехнический университет  
general@mx2.usfeu.ru*

В комплексе мероприятий, обеспечивающих рациональное использование лесных ресурсов, повышение продуктивности лесов и эффективное их восстановление, особое значение имеют способы рубок главного и промежуточного пользования. В последние годы, на Урале, в результате хозяйственной деятель-

ности отмечается усиление тенденции смены хвойных пород мягколиственными, увеличение доли низкобонитетных насаждений и доступных для эксплуатации лесов, в результате шаблонного применения сплошнолесосечных способов рубки и недостаточного эффективного воздействия на вырубленные площади.

Такое положение нельзя признать нормальным. Необходимость сохранения природных комплексов, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических и других полезных функций лесов требует применения несплошных способов рубок леса. В сложившихся условиях эксплуатационные интересы должны быть подчинены лесоводственным.

Главное преимущество несплошных рубок главного и промежуточного пользования заключается в том, что наряду с полным своевременным использованием спелой древесины они обеспечивают непрерывность восстановления и выращивания леса, сохранение лесной среды, формирование высокопродуктивных и биологически устойчивых насаждений. Проведение этих рубок способствует естественному возобновлению леса без создания дорогостоящих лесных культур, сократив примерно на 5-10 лет сроки выращивания спелой древесины, а также упрощает трудоемкий и сложный лесоводственный уход за молодняком.

Однако существующие экономические и технологические трудности их проведения усугубляются отсутствием общепринятой теоретической основы, разнообразием мнений и рекомендаций. Поэтому в нормативных документах сохраняются старые установки, выполнение которых удорожает уход и приводит к вынужденным технологическим потерям, или наносят экологический ущерб лесам, снижая их защитные функции.

Для обоснования мероприятий, снижающих повреждения формируемого насаждения при несплошных рубках механизированной системой машин, отвечающих лесоводственным требованиям, были проведены экспериментальные исследования на территории Уральского учебно-опытного лесхоза УГЛТУ (пос. Северка) Свердловской области.

Выполненные экспериментальные исследования позволили выявить основные факторы, влияющие на точность валки, оценить хозяйственный ущерб, возникающий при проведении несплошных рубок и обосновать мероприятия, снижающие повреждения формируемого насаждения при несплошных рубках механизированной системой машин. Предложенные мероприятия направлены на увеличение точности валки и включают в себя:

1. Определение области применения различных валочных приспособлений и инструментов;
2. Для выбранного валочного приспособления в зависимости от диаметра и направления отклоняющей силы, определить значения сектора управляемой и возможной валки без повреждения оставляемых на доращивание деревьев и подроста;
3. Определение способа управления и технологических параметров механизированной валки для выбранного валочного приспособления.



Однако увеличение точности валки не всегда способно обеспечить беспрепятственную валку деревьев, особенно при рубках малой интенсивности. Поэтому, обоснование технологии несплошной рубки, при которой повышается вероятность беспрепятственной валки, является также одним из путей решения проблемы повреждаемости деревьев при валке леса и формирования высококачественных древостоев.

Эта цель может быть достигнута при селективном изреживании древостоя. Благодаря малости вырубаемых участков, при таких рубках создаются благоприятные условия для естественного возобновления хвойных деревьев - обеспечивается как хорошее обсеменение вырубаемого участка, так и защита от резких суточных колебаний температуры за счет прилегающего леса.

Таким образом, должна развиваться такая практика лесозаготовок, при которой совершенствуются стандарты лесопользования, сокращаются негативные воздействия на окружающую среду, лесные экосистемы сохраняются для будущих поколений, повышается экономический и социальный вклад в устойчивое развитие региона и страны. Решение поставленной задачи может быть достигнуто путем всестороннего анализа существующих технологических процессов и оборудования для их реализации, а также на его основе синтеза новых.

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АКТИВАЦИИ ФТОРАНГИДРИТА ВВЕДЕНИЕМ ПОЛУГИДРАТА СУЛЬФАТА КАЛЬЦИЯ РАЗЛИЧНОГО СОСТАВА**

*Баклюк М.В., Пушкарева М.В., Гашикова В.И.  
УрФУ  
plushka-88@inbox.ru*

Целью данной работы является изучение кинетики гидратации смеси растворимого и малорастворимого фторангидрита (ФА), взятых в различных пропорциях и приготовленных в различных условиях. А также экспериментальное обоснование механизма гидратации фторангидрита, раскрытие его потенциальных возможностей для использования в качестве основного материала в производстве строительных материалов.

Методика проведения эксперимента. Проводилось изучение влияния состава смеси и температуры ведения процесса на кинетику гидратации малорастворимого ангидрита.

Для исследования были приготовлены образцы с разным содержанием обезвоженного фторгипса. Процесс перекристаллизации проводили в ультратермостате с мешалкой. Контроль температуры осуществлялся термометром. Навески опытного образца составляли 15 г при постоянном водо-твердом отношении 7:1. Длительность перемешивания бралась в интервале от 5 до 300 минут. Через определенный промежуток времени ведение процесса заканчивали, а пульпу расфилтровывали. Фильтрат подвергали химическому анализу на содержание  $\text{CaSO}_4$ , а осадок промывали ацетоном для окончательного завершения процесса перекристаллизации путем удаления свободной воды. Далее сухой осадок подвергали анализу на содержание в нем  $\text{H}_2\text{O}_{\text{крист.}}$  и определению

удельной поверхности. По полученным данным рассчитывали степень гидратации, скорость растворения и скорость гидратации.

В данной работе рассматривается кинетика процесса перекристаллизации при введении к измельченному и перекристаллизованному фторангидриту различных по составу добавок в виде обезвоженного фторгипса (FG) и в полугидрата сульфата кальция (в-ПСК) в разных количествах.

Рассмотрены восемь образцов: № 1 (100 % FA), № 2 (обезвоженный FG), № 3 (20% FG + 80 % FA), № 4 (30 % FG + 70 % FA), № 5 (чистый в-ПСК), № 6 (30 % в-ПСК + 70 % FA), № 7 (20 % в-ПСК + 80 % FA), № 8 (10 % в-ПСК + 90 % FA).

Для образцов № 1, 3, 4 процесс гидратации изучался более длительное время. Экспериментальные данные представлены в табл. 1. Для образцов № 5, 6, 7, 8 опытные и расчетные данные представлены на рисунке.

Таблица 1

Экспериментальные данные процесса гидратации в течение длительного промежутка времени для образцов № 1, 3, 4

Образцы	Время, мин									
	0	5	15	30	60	120	180	360	480	600
Образец № 1. CaSO <sub>4</sub> , % H <sub>2</sub> O <sub>крист.</sub> , % Степень гидратации, %	- 0,54 -	0,524 0,95 -	0,374 1,07 -	0,469 1,08 1,72	0,483 1,12 2,18	0,469 1,28 2,98	0,517 1,31 2,25	0,591 1,41		
Образец № 3 CaSO <sub>4</sub> , % H <sub>2</sub> O <sub>крист.</sub> , % Степень гидратации, %	- 2,11 -	0,714 3,30 -	0,319 5,47 -	0,272 5,67 14,26	0,346 5,81 14,84	0,435 6,64 18,33	0,381 6,93 19,56	0,374 7,82	0,469 10,45	0,456 10,57
Образец № 4. CaSO <sub>4</sub> , % H <sub>2</sub> O <sub>крист.</sub> , % Степень гидратации, %	- 1,66 -	0,924 2,12 -	0,592 3,15 -	0,469 3,64 7,76	0,524 4,28 10,34	0,462 4,71 12,09	0,415 5,19 14,07	0,524 6,31	0,468 7,73	0,449 9,15

Исходя из анализа полученных данных, можно сказать, что с течением времени степень гидратации для всех образцов увеличивается. Фторангидрит из-под печи имеет достаточно высокую скорость растворения при незначительной скорости кристаллизации, а введение активного обезвоженного фторгипса ускоряет процесс гидратации.

Анализ рисунка показывает, что значительное повышение содержания H<sub>2</sub>O<sub>крист.</sub> происходит лишь в начальный момент времени (до 15 мин), в оставшийся промежуток времени (до 180 мин) повышение содержания H<sub>2</sub>O<sub>крист.</sub> в образцах происходит незначительно.

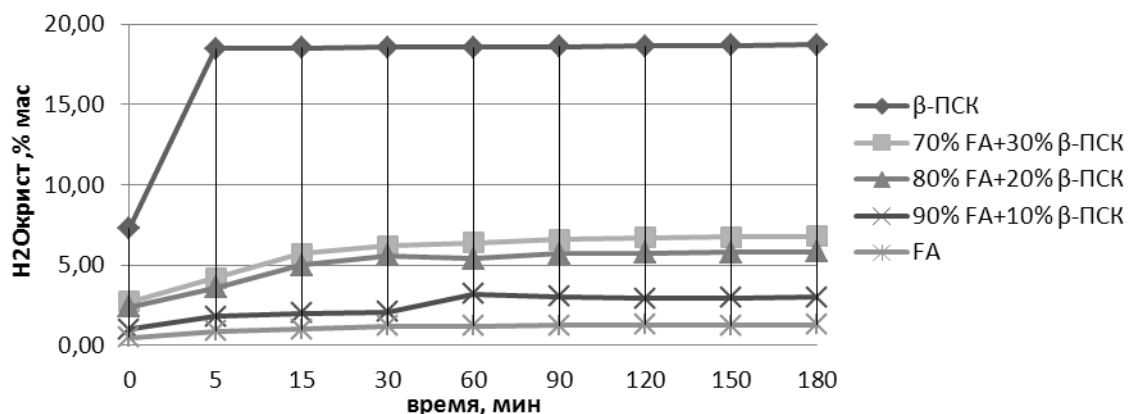


Рисунок – Зависимость содержания H<sub>2</sub>O крист в материале в процессе гидратации от количества добавки β-ПСК

Опытные и расчетные данные по вяжущим свойствам для всех образцов сведены в табл. 2.

Таблица 2

Вяжущие свойства различных смесей

№ образца	В/Т отношение	Сроки схватывания, мин		R <sub>сжатия</sub> , МПа		Содержание кристаллизационной влаги, % мас.	
		Начало	Конец	Через 2 часа	Через 3 суток	Через 2 часа	Через 3 суток
1	0,32	260	600	-	9,50	-	6,63
2	0,53	5,35	7,40	3,53	14,39	13,42	13,61
3	0,40	2,55	5,30	2,77	20,03	7,57	13,45
4	0,37	4,45	10,20	0,724	18,05	6,24	12,46
5	0,31	182	435	-	18,80	-	12,19
6	0,65	4,10	7,45	3,55	13,44	15,41	15,56
7	0,47	6,10	9,20	2,27	20,05	7,59	13,45
8	0,45	4,50	27,25	0,507	17,65	6,27	13,11
9	0,43	6,20	360	-	18,78	-	9,76
10	0,36	160	385	-	27,90	-	12,79

На основании данных табл. 2 можно сказать, что с увеличением количества ангидрида в образце уменьшается водо-твердое отношение, увеличиваются сроки схватывания и меняется прочность при сжатии.

В результате выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрен процесс перекристаллизации фторангидрита – отхода производства Полевского криолитового завода (ОАО «ПКЗ»). Процесс перекристаллизации протекает в две стадии: на первой идет растворение и перекристаллизация активной части, на второй – растворение малоактивной с образованием стабильных пересыщенных растворов.

2. Скорость кристаллизации фторангидрита незначительна, примерно в 70 раз меньше скорости кристаллизации в-ПСК и обезвоженного FG. Скорость кристаллизации FA можно увеличить путем введения добавок. Полученные данные свидетельствуют о том, что рационально использовать в качестве до-

бавки обезвоженный фторгипс из шламохранилища. По эффективности она не уступает в-ПСК, полученному из природного гипсового камня, и ее использование экономически более выгодно.

3. Из анализа зависимости свойств смеси на основе ГА от количества вводимой добавки в виде обезвоженного фторгипса, было выявлено, что оптимальное содержание добавки в смеси соответствует 30 % мас. При этом материал имеет хорошие показатели по вяжущим свойствам, т.е. незначительные сроки схватывания, достаточно высокую начальную и конечную прочность.

В данной работе доказана возможность получения гипсового вяжущего на основе двух отходов ОАО «ПКЗ», которая является выгодной по ресурсосберегающим и энергосберегающим показателям.

## РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТБО

*Барабанова Ю.А., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е.*

*УрФУ*

*nemikhin@rambler.ru*

Повторная переработка твердых бытовых отходов (ТБО) сулит следующие выгоды:

- экономятся невозобновляемые ресурсы природы (нефть, газ, руды), которые используют при добыче первичного материала;
- экономится энергия, потому что обычно для процессов переработки отходов ее потребление значительные меньше, чем для процессов добычи первичных материалов;
- уменьшается загрязнение окружающей среды: это связано с захоронением отходов на свалках (эмиссия, утечка, загрязнение почв);
- уменьшается эмиссия газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ ) , которые создают эффект «теплицы»;
- уменьшается экологическая нагрузка от синтетических веществ, которые природа не способна ассимилировать, на окружающую среду;
- уменьшается площадь земли, необходимой для мест захоронения отходов (которая потом длительно не используется для хозяйственных целей).

Проведем анализ энергетической составляющей использования ТБО.

Для производства 1 т какого-либо продукта необходимо затратить определенное количество энергии, топлива, при этом при сжигании топлива выделится углекислый газ (минимум 5 кг  $\text{CO}_2$ /кг топлива).

Вычислим, сколько энергии (э) и топлива (т) будет затрачено при производстве тонны продукции, а также, сколько выделится углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), например, для алюминия:

$$\text{э} = 317 \cdot 1000 = 317\,000 \text{ МДж}$$

$$\text{т} = 10,5 \cdot 1000 = 10\,500 \text{ кг у.т.}$$

$$\text{CO}_2 = 10500 \cdot 5 = 52\,500 \text{ кг.}$$

Результаты сведены в табл. 1:

Таблица 1

Затраты на производство 1 тонны некоторых видов продукции

Продукт	Затраты энергии, МДж	Затраты топлива, кг у.т.	Выделившийся CO <sub>2</sub> , кг
Алюминий	317 000	10 500	52 500
Полиэстер	233 000	7 930	39 650
Натрий	181 820	6 180	30 900
Медь (лист)	168 180	5 720	28 600
Полипропилен	136 360	4 640	23 200
Медь (провода)	118 180	4 020	20 100
Цинк (лист)	94 170	3 230	16 150
Покрывки резиновые	84 440	2 960	14 800
Сталь нержавеющая (лист)	76 670	2 730	13 650
Стальной лист холоднокатаный	60 170	2 210	11 050
Свинец	54 140	1 970	9 850
Стекланные изделия	33 620	1 160	5800

Ежегодно в г. Екатеринбурге образуется 740 000 тонн ТБО [1].

Полимеры составляют – 7 %=51 800 т (в т. ч. полипропилен - 3 833,2 т), металлы – 2 %=14 800 т; стекло – 3 %=22 200 т; кожа, резина – 1 %=7 400 т.

Подсчитаем, сколько энергии, топлива было затрачено на некоторую продукцию до того, как она оказалась на свалке. Если принять, что отходы металлов в нашем городе состоят из:

алюминия; натрия; меди (лист); меди (провода); цинка (лист); стали нержавеющей (лист); стального листа холоднокатаного; свинца;

то складывая значения затраченной энергии в МДж, топлива в кг у.т. и выделившегося углекислого газа в кг и умножая каждое полученное значение на количество металлических отходов в нашем городе, получим, например, для металлов:

$$\varepsilon_{\Sigma} = 317\,000 + 181\,200 + \dots + 54\,140 = 1\,070\,330 \text{ МДж}$$

$$\mathcal{E} = \varepsilon_{\Sigma} \cdot k = 1\,070\,330 \cdot 14\,800 = 1,58 \cdot 10^{10} \text{ МДж}$$

$$t_{\Sigma} = 10\,500 + 7\,930 + \dots + 1\,970 = 36\,560 \text{ кг у.т.}$$

$$T = t_{\Sigma} \cdot k = 36\,560 \cdot 14\,800 = 541\,088\,000 \text{ кг у.т.}$$

$$\text{CO}_{2\Sigma} = 52\,500 + 39\,650 + \dots + 9\,850 = 182\,800 \text{ кг}$$

$$[\text{CO}_{2\Sigma}] = \text{CO}_{2\Sigma} \cdot k = 182\,800 \cdot 14\,800 = 2\,705\,440\,000 \text{ кг,}$$

где k – количество данного отхода, т.

Рассчитанные величины представлены в табл. 2.

Таблица 2

Затраты энергии, топлива и количество выделившегося углекислого газа на продукты, содержащиеся в отходах г. Екатеринбурга

Продукт	Затраты энергии МДж	Затраты топлива, т у.т.	Выделившийся CO <sub>2</sub> , т
Металлы	$1,58 \cdot 10^{10}$	541 088	2 705 440
Стекло	746 364 000	25 752	128 760
Резина	624 856 000	21 904	109 520
Полипропилен	522 695 152	17 786	88 930

В то же время, для того, чтобы выплавить алюминий из вторсырья, требуется всего 5 % от энергии, необходимой для изготовления алюминия из руды, таким образом, первоначальные затраты энергии 317 МДж/кг, 5 % от этого равняются 15,85 МДж/кг, соответственно, экономия – 301,15 МДж/кг; для производства пластика (примем, полипропилен) требуется 40 % первоначальной энергии: 54,544 МДж/кг (от 136,36 МДж/кг), экономия 81,82 МДж/кг.

Таким образом, как видно из табл. 2, при повторном использовании только металлов будет получена наиболее существенная экономия ресурсов и максимальное снижение выбросов углекислого газа.

#### *Библиографический список*

1. Стратегический проект «Управление отходами» (2007 г.), г. Екатеринбург.

### **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКТОРОВ С РАЗБЕГАЮЩИМИСЯ ПОЛЯМИ**

*Барашев Н.Р., Назаров С.Л., Коняев А.Ю.  
УрФУ*

Устройства электродинамической сепарации в бегущем магнитном поле находят широкое применение при извлечении кусковых неферромагнитных металлов из твердых отходов производства и потребления, а также при сортировке лома цветных металлов на стадии подготовки его к металлургическому переделу [1]. Интерес к электродинамическим сепараторам обусловлен необходимостью решения задач ресурсосбережения (извлечение и переработка вторичных металлов) и охраны окружающей среды (утилизация твердых бытовых отходов).

Из электродинамических сепараторов, используемых в мировой и отечественной практике, наибольшей производительностью и универсальностью обладают сепараторы, в которых бегущее магнитное поле создается линейными индукторами с трехфазной обмоткой. Принцип работы этих сепараторов подобен принципу работы линейных асинхронных двигателей. При этом роль вторичного элемента таких линейных индукционных машин (ЛИМ) выполняют извлекаемые из сепарируемых смесей проводящие предметы.

Типичная конструкция такого сепаратора представляет собой транспортер, под лентой которого установлен линейный индуктор (рис. 1а). Направление движения магнитного поля (движения извлекаемых частиц) перпендикулярно направлению движения ленты транспортера. Очевидным недостатком такой конструкции является существенная неравномерность степени извлечения полезного продукта по ширине ленты транспортера. Действительно, извлекаемой частице, лежащей на стороне ленты, противоположной к приемному бункеру приходится проходить больший путь, испытывая сопротивление сепарируемой смеси. Для надежного извлечения таких частиц приходится снижать

скорость движения ленты, что приводит к уменьшению производительности сепаратора.

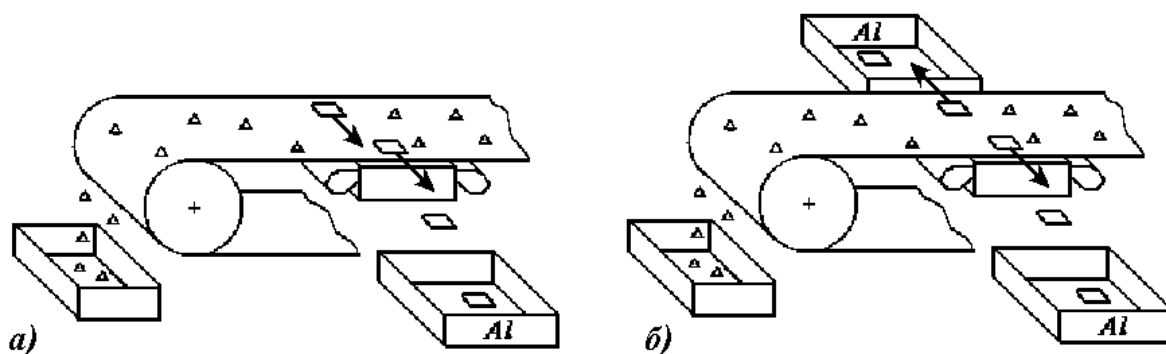


Рис. 1

Увеличения производительности и повышения степени извлечения электродинамического сепаратора можно достичь, используя линейный индуктор с разбегающимися магнитными полями (рис. 1б). В такой конструкции предельно возможный путь извлекаемой частицы сокращается в два раза.

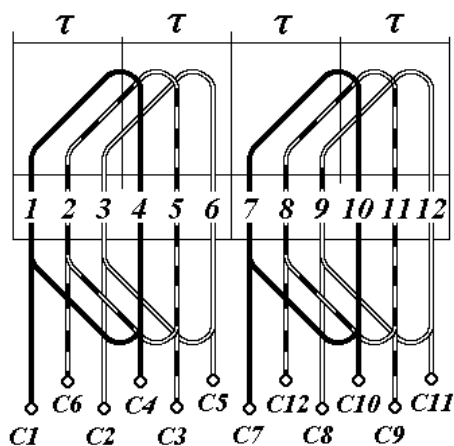


Рис. 2. Схема обмотки индуктора

Однако этот способ требует разработки специальных индукторов, позволяющих создавать разнонаправленные магнитные поля. Необходимо отметить, что в обычных асинхронных машинах такой режим работы индуктора не используется, и поэтому, его особенности не известны.

В этой связи, на кафедре ЭЭС проводятся теоретические и экспериментальные исследования таких режимов работы линейных индукторов.

Для создания разнонаправленных полей обмотка индуктора ЛИМ должна иметь две параллельные ветви, уложенные отдельно на двух половинах общего магнитопровода (рис. 2). Параллельные ветви такой обмотки подключаются к трехфазной сети с различным чередованием фаз. Ввиду несимметрии магнитной цепи линейных машин, различные схемы соединений параллельных ветвей должны иметь различные свойства, - прежде всего, отличаться величинами фазных токов и характером распределения магнитного поля по длине индуктора ЛИМ. При этом, возможны три схемы соединения параллельных ветвей обмотки:

- выводы входных фаз параллельных ветвей обмотки объединены, - средних и выходных – перекрещены (рис. 3а);
- выводы средних фаз параллельных ветвей обмотки объединены, входные и выходные – перекрещены (рис. 3б);
- выводы выходных фаз параллельных ветвей обмотки объединены, средние и входные – перекрещены (рис. 3в).

В качестве инструмента для теоретического исследования была использована одномерная модель ЛИМ [2].

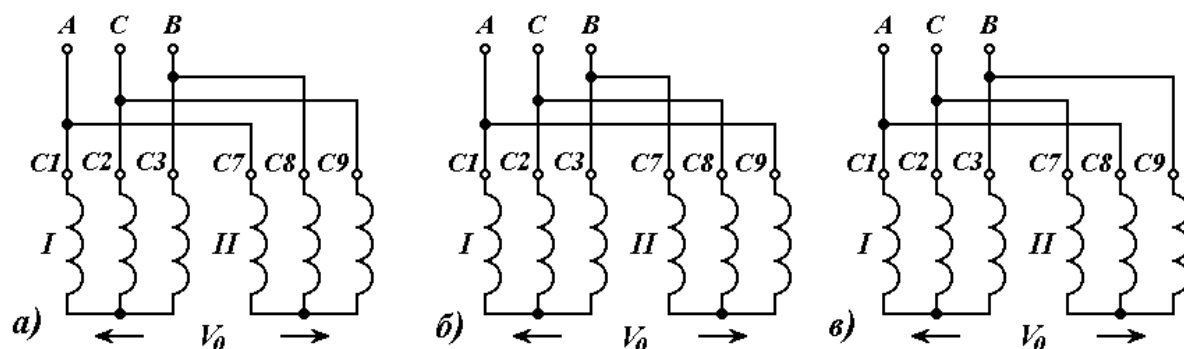


Рис. 3

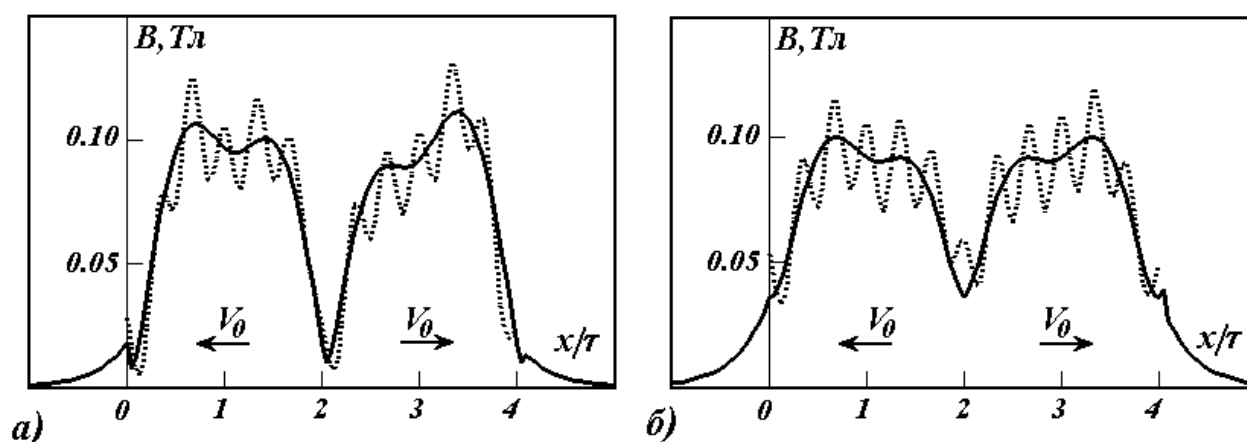


Рис. 4. Распределение магнитного поля ЛИМ а) - по рис. 3а; б) - по рис. 3б, сплошные линии – расчет, пунктирные – эксперимент

Достоверность расчетных методик проверялась экспериментальными исследованиями на серии маломощных ЛИМ, разработанных на кафедре ЭЭС.

В результате проведенных исследований установлено, что оптимальной схемой соединения параллельных ветвей индуктора ЛИМ (с однослойной обмоткой) с разбегающимися полями следует признать схему по рис. 3б, так как:

1. Данная схема дает более равномерное распределение магнитного поля по длине индуктора (рис. 4) по сравнению с другими (распределение поля ЛИМ по схеме рис. 3в не приведено, поскольку оно симметрично схеме по рис. 3а).
2. Такое соединение обеспечивает наибольшую симметрию токов в параллельных ветвях обмотки (таблица).

Экспериментальные (числитель) и расчетные (знаменатель) токи параллельных ветвей ЛИМ с разбегающимися полями

Схема	Ветви	$I_A$ , А	$I_B$ , А	$I_C$ , А
Рис. 3а	I	0,450 / 0,484	0,280 / 0,303	0,380 / 0,409
	II	0,420 / 0,446	0,420 / 0,444	0,260 / 0,285
Рис. 3б	I	0,410 / 0,444	0,430 / 0,473	0,340 / 0,360
	II	0,400 / 0,444	0,440 / 0,473	0,350 / 0,360



### *Библиографический список*

1. Колобов Г.А., Бредихин В.Н., Чернобаев В.М. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов. М.: Металлургия, 1993. 288 с.
2. Коняев А.Ю., Назаров С.Л., Удинцев В.Н. Влияние первичного краевого эффекта на характеристики электродинамического сепаратора с бегущим магнитным полем // Вестник УГТУ. Вопросы совершенствования электротехнического оборудования и электротехнологий. Екатеринбург: УГТУ, 2000. С. 28-33.

## **ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ СЕПАРАТОРЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕЛКОЙ ФРАКЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ИЗ СЫПУЧИХ СМЕСЕЙ**

*Бунькова Е.А., Станкевич В.С., Лыткин В.В., Мызгина Е.М., Коняев И.А.*  
*УрФУ*

*kem\_em@mail.ustu.ru, megavoltik@mail.ru*

Развитие вторичной металлургии, а также все возрастающие потребности в переработке твердых металлосодержащих отходов обуславливают востребованность технологий и оборудования для сбора и обработки вторичных цветных металлов. Одной из таких технологий является электродинамическая сепарация – метод разделения немагнитных материалов по электропроводности, использующий силовое взаимодействие магнитного поля индуктора с вихревыми токами, наведенными этим полем в проводящих предметах или частицах.

С помощью электродинамической сепарации могут решаться следующие технологические задачи: извлечение лома цветных металлов из твердых бытовых или смешанных отходов; отделение металлической фракции от неметаллической в сложных отходах металлов (отходы электро- и радиотехнической промышленности, электролампового производства, автомобильный лом и т.п.); очистка сыпучих материалов от металлических включений (например, очистка отработанных формовочных смесей от скрапа в литейном производстве); сортировка сложного цветного металлолома при подготовке его к металлургическому переделу: разделение лома по крупности, удельному весу, электропроводности (например: отделение кускового лома от стружки; разделение сплавов, отличающихся только легирующими добавками) и др. В большинстве случаев электродинамическая сепарация позволяет заменить ручной труд, а в ряде технологий не имеет альтернативы.

Как показывает опыт, для решения указанных задач целесообразны электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем, в которых извлекаемые металлические предметы играют роль вторичного элемента (ВЭ) индукционной электрической машины.

В Уральском федеральном университете на электротехническом факультете ведутся разработки электродинамических сепараторов с различным способом возбуждения бегущего магнитного поля. С учетом тенденций энерго- и ресурсосбережения, изготавливать электродинамические сепараторы целесообразнее на основе элементов серийных электрических машин, что позволяет сни-

зять стоимость изготовления установки и сделать её более конкурентоспособной.

В исследовательской лаборатории кафедры ЭМ были реализованы некоторые возможные конструкции электродинамических сепараторов. На экспериментальных моделях проводились исследования, направленные на уточнение и выявление основных закономерностей и особенностей характеристик сепараторов.

В ходе проведенных исследований была выявлена нелинейность и экстремальность характеристик электромагнитного усилия в зависимости от частоты бегущего магнитного поля. В данной работе представлены результаты исследований, которые проводились в нескольких вариантах: извлекаемые частицы из одинакового материала, но различной крупности и частицы одинакового размера, но с различной электропроводностью (рис. 1 и 2).

Как видно из характеристик, для извлечения более мелких частиц или частиц с малой электропроводностью требуется значительное повышение частоты бегущего магнитного поля.

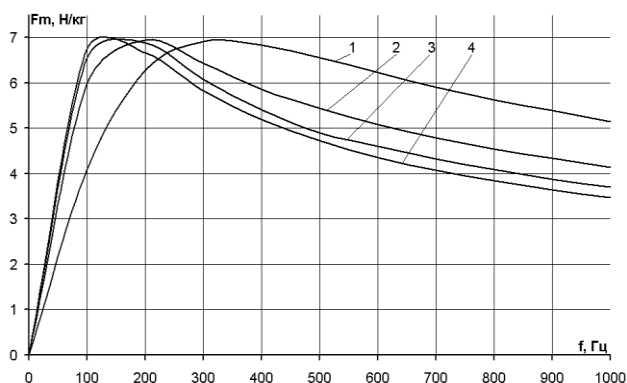


Рис. 1. Зависимость  $F_m=f(f)$  для сепаратора на базе ротора двигателя АК61-4: цифрами 1-4 показаны размеры пластин: 30·30 мм; 50·50 мм; 70·70 мм; 90·90 мм, соответственно

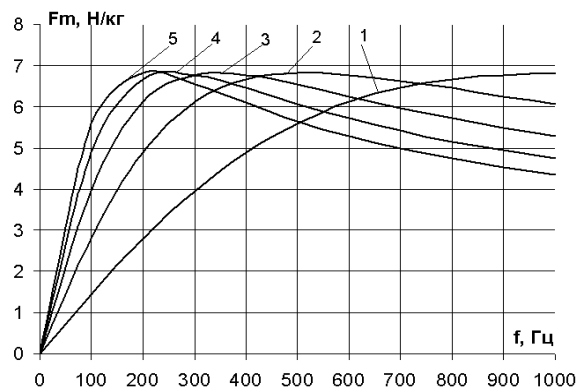


Рис. 2. Расчет усилий при различных проводимостях медьсодержащих сплавов для пластин 50·50·5 мм (ротор АК61-4): плотность - 8,9 кг/м<sup>3</sup>; электропроводность - 10; 20; 30; 40; 50 МСм·м (1-5, соответственно)

Максимальное значение частоты магнитного поля, которого удалось достичь при питании обмоток неподвижного индуктора от преобразователя частоты, составляет 150-200 Гц. Дальнейшее увеличение частоты ведет к значительному увеличению потерь в стали магнитопровода и удорожанию установки.

В установках на основе вращающихся цилиндрических индукторов увеличение частоты ограничивается механической прочностью индукторов. В опытных образцах таких установок частоту магнитного поля удавалось повысить до 500-800 Гц.

Как показали дальнейшие исследования, на описанных установках успешно сепарируются смеси с крупностью частиц более 10 мм. Мировая практика показывает, что частицы менее 1 мм успешно обрабатываются электростати-

ческими сепараторами. Таким образом, неохваченным пределом оказывается промежуток крупности частиц 1...10 мм.

Неохваченный диапазон относится к мелкой стружке, электронному лому и т. п., которые безвозвратно теряются при обработке более крупных смесей. Поставленную задачу извлечения частиц крупностью 1...10 мм можно решить при помощи электродинамических сепараторов индукторного типа, в которых бегущая составляющая магнитного поля получается за счет вращения зубчатого ротора под индуктором. В данном случае зубчатый ротор не имеет обмоток, и механическая прочность всей конструкции определяется только прочностью самого ротора.

Возможные варианты конструктивного исполнения таких сепараторов показаны на рис. 3. Представленные модели были изготовлены из необмотанного ротора машины постоянного тока и дисковой линейной асинхронной машины.

Установка на основе дискового линейного асинхронного двигателя представляет собой установленный под лентой конвейера вращающийся зубчатый диск. Над конвейером установлен П-образный индуктор, который создает основное магнитное поле. В рабочей зоне индуктора за счет модуляции воздушного зазора создается бегущее магнитное поле, наводящее в проводящем ВЭ вихревые токи, взаимодействие которых с этим же магнитным полем приводит к перемещению ВЭ перпендикулярно движению конвейера.

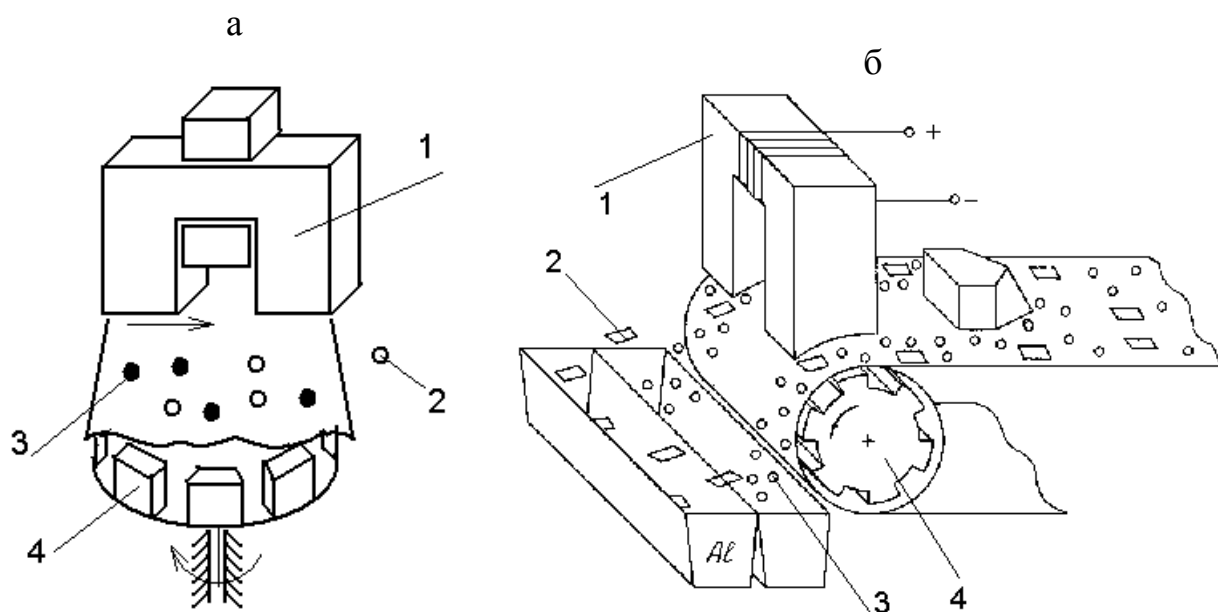


Рис. 3. Силовая часть экспериментальной установки по электродинамической сепарации:  
1 – зубчатый ротор; 2 – сердечник индуктора; 3 – обмотка индуктора;  
4 – приводной двигатель

Установка на основе необмотанного ротора машины постоянного тока представляет собой встроенный в шкив конвейера вращающийся ротор. Над конвейером установлен П-образный индуктор, который создает основное магнитное поле. При взаимодействии токов, наведенных во ВЭ, с магнитным по-

лем проводящие частицы получают ускорение и по баллистической траектории попадают в соответствующий приемник.

## ОБЕСФТОРИВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОАО «ГАЛОГЕН» г. ПЕРМЬ

Валенцева Т.А., Аксенов В.И.

УрФУ

E-mail: tatiana\_vta@mail.ru

Вода - один из важнейших ресурсов. Стоит острая проблема ее рационального использования, а также качества, которое с каждым годом ухудшается. Известно, что большое количество воды потребляют различные заводы на нужды производства, а затем сбрасывают стоки в водоем без предварительной или после недостаточной очистки.

На одном из крупнейших химических предприятий на территории России ОАО «ГАЛОГЕН» образуется от 20 до 100 м<sup>3</sup>/ч стоков с содержанием фторид-иона до 200 мг/дм<sup>3</sup>. Они обрабатываются известковым молоком до pH ≈ 9 и направляются в накопитель. Содержание фторид-иона снижается до 20 мг/дм<sup>3</sup>. После накопителя стоки сбрасываются в реку Каму.

По существующим нормам, при сливе в водоемы питьевого назначения концентрация фтора в воде не должна превышать 1,5 мг/л.

Существующая схема обработки стоков представлена на рис.1.

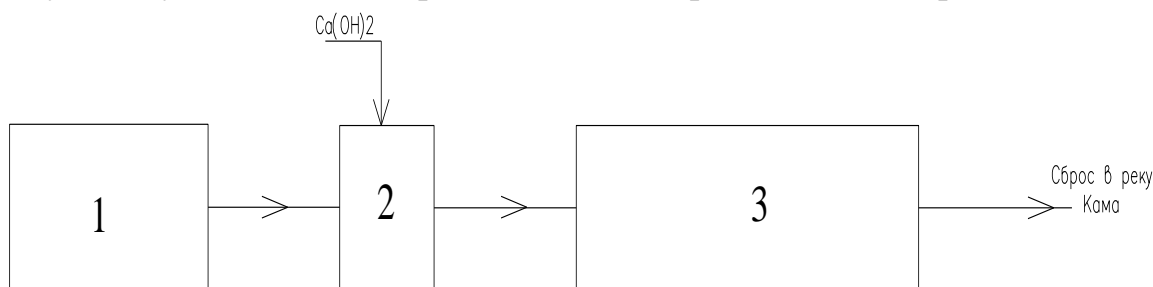


Рис. 1. Существующая технологическая схема:  
1 - производство; 2 - смеситель; 3 - накопитель

На основании проведенных исследований нами разработана принципиальная технологическая схема очистки от фторид-иона сточных вод на предприятии ОАО «ГАЛОГЕН». Она заключается в следующем: после накопителя сток направляем в смеситель, где он обрабатывается коагулянтом сульфатом алюминия ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) и подщелачивается известковым молоком ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) до pH=8,5...9. Происходит сорбция фторид-иона хлопьями  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , тем самым снижается его содержание. Затем смесь направляется в отстойник. В трубопровод перед отстойником добавляем флокулянт для структурирования осадка. В сооружении происходит осветление воды. Очищенная от фторид-иона вода направляется обратно в производство. Осадок, образовавшийся в отстойнике, обрабатываем в сгустителе и в узле механического обезвоживания. Полученный фильтрат отправляем в производство, а обезвоженный осадок на утилизацию (рис. 2).

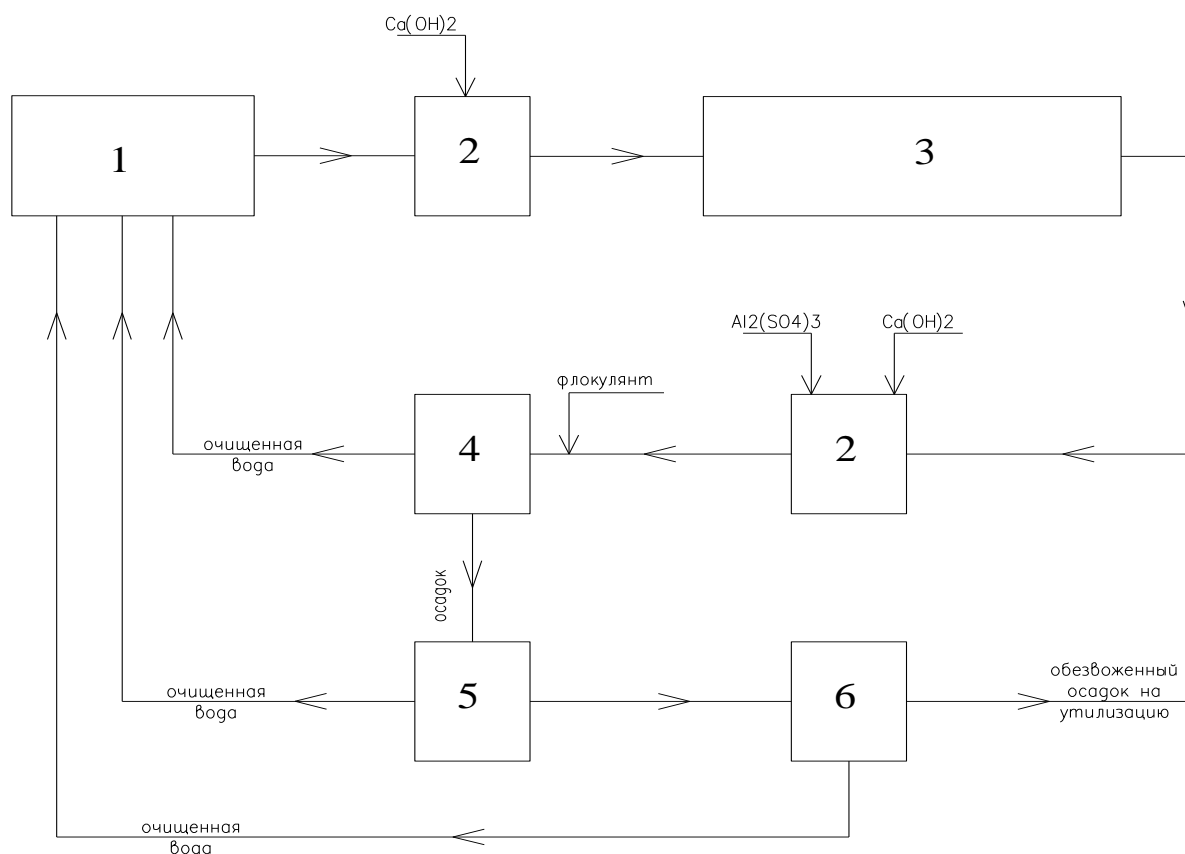


Рис. 2. Технологическая схема:  
 1 - производство; 2 - смеситель; 3- накопитель; 4 - отстойник;  
 5 - сгуститель; 6 - узел механического обезвоживания

В качестве заключения следует отметить преимущества применения данной технологической схемы:

- 1) За счет возвращения воды обратно в производство существенно уменьшается количество свежей подпиточной воды;
- 2) Применяется обратная система водоснабжения;
- 3) Не происходит загрязнения водоема большим содержанием фторид-иона.

### *Библиографический список*

1. Гигиена: учебник для вузов / под ред. Г.И. Румянцева. М.: ГЭОТАР МЕДИЦИНА, 2000.
2. Белевцев А.Н., Байкова С.А. Исследование эффективности реагентных технологий удаления фторидов из природных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 12.

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЗОЛЫ ТЭС НА СВОЙСТВА ТАМПОНАЖНОГО ЦЕМЕНТА

Волкова Л.В., Капустин Ф.Л.

УрФУ

volkova\_USTU@mail.ru

Тепловые электрические станции (ТЭС), используя для получения энергии твердое топливо, производят большое количество отходов (золы-унос и шлаки), которые скапливаются в отвалах и представляют серьезную опасность для окружающей природной среды (занимают большие площади, требуют значительных эксплуатационных затрат, являются источниками пылеобразования и отрицательно влияют на здоровье людей). Вопросы утилизации золошлаковых отходов с каждым годом становятся все более актуальными, так как в условиях дефицита природных ресурсов их применение целесообразно с целью ресурсосбережения.

Одним из основных направлений повышения качества цементирования газовых и нефтяных скважинах является разработка и внедрение многокомпонентных тампонажных растворов со специальными технологическими и функциональными характеристиками. В тампонажных цементах золу-унос тепловых электростанций целесообразно использовать для снижения доли энергоемкого материала, снижения плотности раствора и повышения сульфатостойкости цементного камня.

По результатам исследования физико-механических свойств тампонажных растворов с добавкой золы-унос от сжигания каменного и бурого углей нами разработаны требования к золам ТЭС (таблица) для использования в качестве минеральной добавки в составе тампонажных портландцементов [1].

Требования к золе-унос ТЭС для тампонажных цементов

Поз.	Наименование показателя	Значение
1	Содержание оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), мас. %, не менее	25
2	Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на $\text{SO}_3$ , мас. %, не более:	2
3	Потери массы при прокаливании, мас. %, не более:	5
4	Остаток на сите № 008, мас. %, не более:	25
5	Влажность, мас. %, не более	1

В дополнение к вышеперечисленным характеристикам, на свойства тампонажных портландцементов существенное влияние оказывает также содержание в золе ТЭС свободного оксида кальция ( $\text{CaO}_{\text{своб}}$ ). Однако в научнотехнической литературе отсутствует научно обоснованный анализ влияния  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  в золе на свойства тампонажных растворов и камня на его основе.

Целью данной работы было изучение влияния количества  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  (от 0 до 11,8 %) на физико-механические свойства тампонажных растворов с различным содержанием золы-унос (15 и 30 %). При проведении экспериментов использовали золу-унос различных ТЭС, отличающиеся химическим составом и количеством  $\text{CaO}_{\text{своб}}$ . Установлено, что с увеличением количества золы-унос в составе тампонажного раствора водоотделение снижается в среднем в 1,2 раза. Водоотделение растворов максимально при содержании  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  0,5...2,4 % и мини-

мально при количестве 9,8...11,8 %, так как известь является наиболее химически активным минералом и быстро связывается с водой в гидроксид кальция.

Увеличение в составе цементной смеси содержания  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  при добавлении 15 и 30 % золы-унос повышает плотность раствора. Составы тампонажных растворов, состоящие из портландцемента и золы-унос, при температуре 22 °С за 6 часов не загустевают до консистенции 30 Вс, при этом более медленно набирают консистенцию растворы с содержанием в золе-унос  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  до 2,4 %. Поэтому для использования разработанных тампонажных растворов при низких и нормальных температурах (до 50 °С) необходимо дополнительное применение в их составе добавок, повышающих вязкость.

При температуре 75 °С процесс загустевания тампонажного раствора происходит быстрее, чем при 22 °С, за счет ускорения химических реакций и образования продуктов гидратации цемента. Все составы, содержащие золу-унос с  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  менее 7,0 %, удовлетворяют требованиям ГОСТ 1581-96 «Портландцементы тампонажные. Технические условия» [2] по времени загустевания до консистенции 30 Вс. Однако, использование золы-унос, содержащей  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  более 7,0 %, в тампонажных растворах для умеренных температур, твердеющих при 75 °С, нецелесообразно по причине быстрого достижения ими требуемой консистенции (время загустевания не удовлетворяет требованиям ГОСТ 1581-96).

Тампонажные растворы с добавкой золы-унос, содержащей  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  более 7,0 %, характеризуются расширением цементного камня. Линейное расширение образцов в возрасте 2 суток, твердевших при температуре 22 °С, составляет 0,62 %, а при 75 °С – 1,87...8,75 %. Возможной причиной расширения цементного камня при твердении является гидратация свободных  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  и образование этtringита. При этом предел прочности при изгибе цементного камня, твердевшего при температуре 22 °С, незначительно снижается. С ростом температуры твердения до 75 °С при количестве  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  в золе в диапазоне от 0 до 7,4 % происходит снижение прочности, а увеличение извести до 11,8 % ее повышение значительно.

Таким образом, на основании проведенных исследований по влиянию количества золы-унос ТЭС и  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  в ней на физико-механические свойства тампонажных растворов могут быть рекомендованы следующие их составы:

- тампонажный раствор (универсальный) на основе тампонажного портландцемента ПЦТ 1-50 и золы-унос с содержанием  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  до 7,0% в количестве от 15 до 30 %, предназначенный для низких, нормальных и умеренных температур;

- расширяющийся тампонажный раствор, предназначенный для умеренных температур, на основе цемента ПЦТ 1-50 и золы-унос в количестве до 30 % с содержанием  $\text{CaO}_{\text{своб}}$  от 8 до 10 % при условии введения добавок, замедляющих время загустевания. Линейное расширение цементного камня регулируется количеством введенной золы-унос ТЭС.

#### *Библиографический список*

1. Волкова Л.В., Капустин Ф.Л. Требования к золе ТЭС для использования в тампонажных цементах // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники

энергии: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 361-362.  
2. ГОСТ 1581-96. Портландцементы тампонажные. Технические условия. Введ. с 01.10.1998. М.: ГУП ЦПП. 1998. 12 с.

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОФАКЕЛЬНОГО СЖИГАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ТОПКАХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

*Горшенин А. С., Щелоков А. И.,  
Самарский государственный технический университет  
pt@samgtu.ru*

В коммунально-бытовых и промышленных установках, работающих на природном газе низкого давления, широко используются газовые инжекционные горелки частичного предварительного смешения с многоструйной раздачей газозвоздушной смеси в объем топки. Для распределения газозвоздушной смеси используются коллекторы из труб с отверстиями по длине. Равномерность раздачи газозвоздушной смеси по длине коллектора весьма важна, так как от этого фактора зависит заполнение топки продуктами горения и распределение тепловых потоков по тепловоспринимающей поверхности. Непременным условием выполнения этих требований является одинаковая длина для всей совокупности формирующихся элементарных факелов.

Коллектор постоянного поперечного сечения с равномерно распределенными по длине отверстиями всегда создает неравномерность раздачи газа по длине. Основная причина возникновения неравномерности – изменение статического давления по длине трубы. При истечении газозвоздушной смеси из трубы через ряд отверстий, скорость внутри трубы и кинетическая энергия постепенно падают, а статическое давление к концу трубы возрастает.

С другой стороны, силы трения вызывают потерю энергии движущейся в трубе газозвоздушной смеси и уменьшают статическое давление по длине трубопровода. Коллекторы горелок, в которых статическое давление в конце перфорированного участка выше, чем в начале, относят к коротким трубам, при расчете которых сопротивлением трения пренебрегают. Как правило, такие коллекторы представляют собой перфорированную трубу, заглушенную с одной стороны. Так как инжекционные горелки частичного предварительного смешения работают на газе низкого давления, то при анализе их работы при расчете течения газозвоздушной смеси в перфорированной трубе принимают ряд допущений – скорость газозвоздушной смеси по сечению коллектора постоянна, а среда является несжимаемой. Из уравнения Бернулли следует, что скорость истечения из отверстия определяется по формуле

$$V_x = \mu \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_x - P_H)}, \quad (1)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода;  $P_x$  - статическое давление в рассматриваемом сечении;  $P_H$  - давление в окружающей среде.

В конце трубы длиной  $l$  ( $x = l$ ) статическое давление составит



$$P_l = P_0 + \frac{\rho \cdot V_0^2}{2}, \quad (2)$$

здесь  $P_0$  - статическое давление в начале трубы;  $V_0$  - скорость среды в начале трубы.

Согласно формуле (2) статическое давление в конце трубы возрастает на величину динамического давления в начале трубы. Возрастание статического давления по длине коллектора приводит к росту скорости истечения, а следовательно, к увеличению (при постоянстве диаметра газовыпускных отверстий) расхода вытекающей газовоздушной смеси и длины факела, к возрастанию неравномерности распределения тепловых потоков по объему камеры сгорания.

Для обеспечения равномерности раздачи газовоздушной смеси по длине коллектора необходимо найти распределение площади сечений отверстий. Равномерная раздача массы газовоздушной смеси по длине описывается условием

$$M = M_0 \left(1 - \frac{x}{l}\right), \quad (3)$$

Массовый расход газовоздушной смеси, вытекающей через отверстия, описывается выражением

$$\frac{dM}{dx} = \frac{dF}{dx} \mu \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho}, \quad (4)$$

где  $M = M_0 \frac{x}{l}$ ;  $M_0$  - начальный расход газовоздушной смеси,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;  $M$  - расход газовоздушной смеси,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ .

При этом закон изменения площади отверстий вдоль коллектора опишется выражением

$$\frac{dF}{dx} = \frac{1}{\mu \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho}} \frac{dM}{dx}, \quad (5)$$

где  $\Delta P = P$  - избыточное давление в коллекторе;  $\frac{dM}{dx} = \frac{M_0}{l}$  - условие равномерной раздачи.

Тогда выражение (5) можно записать в окончательном виде

$$\frac{dF}{dx} = \frac{1}{\mu \sqrt{2 \cdot P \cdot \rho}} \frac{M_0}{l}. \quad (6)$$

Давление газовоздушной смеси внутри коллектора находится из уравнения Бернулли

$$P = P_0 + \frac{\rho}{2} (V_0^2 - V^2), \quad (7)$$

где  $V, \rho$  - скорость и плотность в рассматриваемом сечении.

Плотность газовоздушной смеси определяется условиями организации сжигания газового топлива и зависит при прочих равных условиях от величины первичного коэффициента расхода воздуха

$$\rho = \rho_{r0} (1 + \alpha \cdot V_0 \cdot S), \quad (8)$$

где  $S = \frac{\rho_B}{\rho_{r0}}$ .

При сжигании газовой смеси длина факела составит [1]

$$L_{\phi} \approx 2 \cdot L_B, \quad (9)$$

$$\text{где } L_B \sim \frac{d_0 \cdot W_0}{U_T}, \quad (10)$$

здесь  $d_0$  - диаметр отверстия;  $W_0$  - скорость истечения;  $U_T$  - скорость турбулентного распространения пламени.

Согласно выражению (2) в конце коллектора статическое давление газовой смеси возрастает. Тогда при соблюдении равенства длин элементарных факелов ( $L_B = \text{const}$ ) возрастание скорости истечения смеси приводит к необходимости уменьшения диаметров газораздающих отверстий или применения коллектора с переменным поперечным сечением, сужающимся к глухой стороне.

Для снижения неравномерности раздачи газовой смеси необходимо выравнивать давление в трубе, выполнив коллектор проточным.

Наиболее простой случай – закольцовывание коллектора двумя каналами одинакового диаметра  $d_2$ .

Тогда расход газовой смеси по двум перфорированным цилиндрическим трубам диаметра  $d_2$  составит  $\Delta M = M_0 - M_l$ . При равномерном распределении среды между двумя трубами длиной  $l_x$  распределение площади отверстий может быть определен по выражению (6).

#### *Библиографический список*

1. Арсеев А.В. Сжигание природного газа. М.: Гос. науч.-техн. изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1963.

## **ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА С ПОВЫШЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТЬЮ**

*Гребнева Д.А., Федорец Н.А., Иванова А.В., Михайлова Н.А.  
УрФУ*

Данная работа является продолжением работы для одного из кирпичных заводов Оренбургской области. Особенностью оренбургской глины является повышенное содержание в ней карбонатов, довольно высокая температура обжига – 1050 °С и возможность получения строительного кирпича марки не выше «100» [1].

Предприятием была поставлена новая партия оренбургской глины, которая имела следующий химический состав в природном состоянии (содержание оксидов, мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 50,08;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11,32;  $\text{CaO}$  – 12,80;  $\text{MgO}$  – 2,47;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 4,58;  $\text{TiO}_2$  – 0,55;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,81;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3,30; потеря массы при прокаливании – 12,88.

Содержание свободного кремнезема – 25,60 %. Содержание свободного  $\text{CaO}$  – 12,80 %.

По сравнению с глиной первой поставки в составе данной глины меньшее содержание  $\text{SiO}_2$  – 50,08 (56,35) и большее содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 4,58 (2,90). Это говорит о том, что глина новой партии должна лучше спекаться, должна обеспечить получение кирпича более высокой марки при температуре обжига ниже  $1050^\circ\text{C}$ , что потребует меньшего расхода топлива – природного газа при обжиге кирпича [2].

По данным химического и дифференциально-термического анализа новой партии оренбургской глины она имеет следующий минеральный состав: монтмориллонит – 43; свободный кремнезем – 25,6; кальцит – 19; магнезиальные силикаты – 7 и гидроксиды железа – 5,4 %.

Количество крупнозернистых включений в данной глине – очень небольшое – 0,40 %, т.е. кальцит находится в новой партии глины в тонкодисперсном состоянии.

По содержанию тонкодисперсных фракций (частицы размером менее 10 мкм) – новая партия оренбургской глины низкодисперсная, по содержанию частиц размером менее 1 мкм – грубодисперсная. Формовочная влажность глины – 16...17 %. Пластичность – 6,5, т. е. это малопластичная глина.

Чувствительность к сушке по Носовой составляет 0,61 – это малочувствительная к сушке глина.

Усадка при сушке – 4,5 %. При обжиге при температуре  $1000^\circ\text{C}$  полная усадка – 5,2 %, т. е. усадка при обжиге – 0,7 %. Водопоглощение образцов – 16,5 %, плотность –  $1,68 \text{ г/см}^3$ , открытая пористость – 28 %.

Образцы-кубики размером  $50 \times 50 \times 50$  мм после обжига при  $1000^\circ\text{C}$  выдержали испытание по механической прочности на марку «150» (с коэффициентом 0,6). Образцы из данной глины выдержали испытание на морозостойкость – 0,85 (отношение холодного и горячего водопоглощения, ускоренный метод испытания) [3].

#### *Библиографический список*

1. Ваганова Т.А., Колмогорова Е.И., Столяров А.К., Иванова А.В., Михайлова Н.А. Возможность получения строительного кирпича на основе глин с повышенным содержанием карбонатных включений // Энерго- и ресурсосбережение: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009.
2. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.
3. ГОСТ 530-2007. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2008.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

*Григорьева Е.А., Правдин Б.А., УрФУ  
Демидов К.Н., ОАО «Уральский институт металлов»  
gevgeniya@yandex.ru*

Основным конструкционным материалом современной промышленности является сталь. В 2009 году в мире было произведено более 700 млн тонн стали.

На сегодняшний день из всех способов получения стали кислородно-конвертерный является самым распространенным и высокопроизводительным.

Он осуществляется путем продувки жидкого чугуна кислородом и получением стали различных марок и назначений.

Особенностью этого процесса является использование в качестве одного из шлакообразующих материалов дорогого и дефицитного плавикового шпата [1]. Он должен обеспечивать в процессе рафинирования металла необходимый химический состав и требуемые физические свойства шлака.

В связи с этим достаточно давно ведется поиск материалов, которые могли бы заменить плавиковый шпат и одновременно решить проблему получения требуемого состава шлака в процессе производства стали и максимально ускорить процесс его гомогенизации. Все это заставило обратить внимание на цветную металлургию, и в частности производство алюминия из глинозема, основным агрегатом которого является электролизер [2].

Промышленный способ получения алюминия электролизом глиноземо-криолитовых расплавов, несмотря на длительное его применение, имеет ряд существенных недостатков, одним из которых является значительное количество техногенных отходов.

В них присутствуют в широком спектре соединения таких элементов, как алюминий, натрий, фтор, калий, способные заменить в качестве разжижающих добавок ряд природных и искусственных материалов.

Усредненный химический состав отходов представлен в таблице [3]

Химический состав отходов алюминиевого производства

Наименование отходов	Содержание, %						
	F	Na	Al	C	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Отработанная футеровка	11,0	11,6	14,1	24,2	22,7	1,0	0,4
Пыль э лектрофильтров	16,3	10,4	11,7	42,2	0,5	1,9	5,0
Шлам газоочистки	25,0	18,0	12,0	15,0	0,4	1,7	5,7
Электролитная пена	30,0	18,0	14,5	31,0	0,4	2,0	0,6
Хвосты флотации	11,0	5,9	4,3	71,5	0,3	0,8	0,5
Шлам со шламового поля	15,1	9,0	8,3	54,2	1,3	2,2	1,0

Несомненный интерес представляет использование отработанной футеровки электролизных ванн (выбойки). Футеровка электролизеров изготавливается из угольных плит или блоков, спрессованных из мелкого кокса или термоантрацита и каменноугольной смолы. При электролизе глинозема во фторидных и щелочных расплавах футеровка насыщается соединениями электролита.

Установлено положительное влияние на процессы ассимиляции извести шлаковым расплавом оксидов натрия и алюминия и его обогащение анионами фторидов. В результате, полученный высокоосновной жидкоподвижный шлаковый расплав может обеспечить значительную степень рафинирования металла от серы и фосфора.

Однако, учитывая особенность фракционного состава отработанной футеровки электролизеров, использование ее без специальной подготовки для

сталеплавильного производства в большинстве случаев не может быть осуществлено. Требуется измельчение крупногабаритных блоков и укрупнение мелкодисперсных частиц до определенных размеров.

В настоящее время значительное количество отходов, в частности шламы и отработанная футеровка, не утилизируется, а направляется в отвалы.

На примере Богословского алюминиевого завода можно заметить, что площадь шлакового отвала составляет приблизительно 65 га, на нем размещено около 8 млн. тонн отходов. Кадастровая стоимость земли, занимаемой техногенными отходами, оценивается в 294,22 руб./м<sup>2</sup>, то есть кадастровая оценка стоимости земли под шлаковым отвалом Богословского алюминиевого завода на сегодняшний день составляет около 191 млн. руб.

Таким образом, применение в конвертерной плавке в качестве шлакообразующей добавки отработанной футеровки электролизных ванн алюминиевого производства позволяет полностью исключить применение плавикового шпата без ухудшения качества конвертерной стали и снижения производительности.

Такая технология переработки отходов алюминиевого производства направлена не только на утилизацию техногенного сырья, но и на освобождение земельных ресурсов. За счет реализации предлагаемой технологии, отчужденные земли могут быть рекультивированы, а для предприятия будет сокращена плата за землю.

#### *Библиографический список*

1. Явойский В.И. Теория процессов производства стали. М.: Металлургия, 1967. 792 с.
2. Терентьев В.Г., Школьников Р.М., Гринберг И.С., Черных А.Е., Зельберг Б.И., Чалых В.И. Производство алюминия. М.: Металлургия, 1998. 350 с.
3. Состояние и перспективы развития технологий подготовки и использования металлошихты в конвертерной плавке / Отчет НИР-1В, 369. УралНИИЧМ, ВНИИГПЭ. М., 1988. 46 с.

### **ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ МАССООТДАЧИ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ КОНВЕРСИОННОГО КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ**

*Долматова Ю.А., Лисовая Г.К.*

*УрФУ*

*e-mail: lesrusalok@mail.ru*

Карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$  широко используется в промышленности. Карбонат кальция используют при производстве стекла; при производстве продукции личной гигиены, бытовой химии; в пищевой и медицинской промышленности; в качестве наполнителя и красителя; при производстве поливинилхлорида, полиэфирных волокон, полеолефинов; в строительстве; при производстве пластмассы (более 50 % всего потребления); в очистительных системах; при помощи карбоната кальция восстанавливают кислотно-щелочной баланс почвы.

В процессе сушки карбоната кальция на химзаводах потребляется большое количество топлива. Интенсификация процесса сушки карбоната кальция является актуальной задачей.

Установка для исследования процесса сушки (рис. 1) состоит из сушильной камеры 1 сечением 0,15 м × 0,20 м, электрического калорифера 3, вентилятора 4, циркуляционного контура 11 и щита контрольно-измерительных приборов [1].

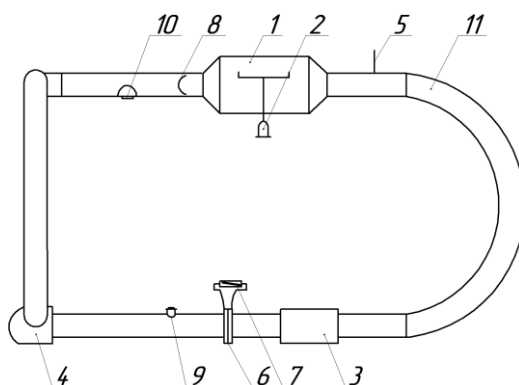


Рис. 1. Установка для исследования процесса сушки:

1 – сушильная камера; 2 – весы; 3 – электрокалорифер; 4 – вентилятор; 5 – термометр;  
6 – диафрагма; 7 – дифманометр; 8 – заслонка; 9, 10 – задвижки;  
11 – циркуляционный контур

Для поддержания постоянного влагосодержания сушильного агента часть отработанного воздуха выводится из циркуляционного контура с помощью задвижки 9, а взамен засасывается свежий воздух с помощью задвижки 10. Расход воздуха, циркулирующего в сушилке, регулируется заслонкой 8. Для измерения расхода воздуха установлена диафрагма 6 с дифманометром 7 и расходомер (установлен на щите КИП). Температура нагретого в электрокалорифере 3 воздуха измеряется термометром 5. Навеску продукта тонким слоем насыпали на стекло и помещали в сушильную камеру 1 на рамку, соединенную с чашкой весов 2. По мере высыхания материала с помощью секундомера фиксируется интервал времени через который происходит убыль веса на определенную величину по шкале весов 2. Влагосодержание воздуха определяется с помощью психрометра.

Поверхность тепло- и массообмена для тонких классов материалов практически не определима, поэтому за активную поверхность массообмена в расчетах принимали поверхность стекла, на котором тонким слоем размещались одинаковые навески. Опыты проводились при различных скоростях воздуха. В каждом опыте определяли убыль веса материала во времени. По этим данным определяли влагосодержание и строили кривые сушки (рис. 2); определяли скорость сушки в первом периоде, а отсюда – коэффициенты массоотдачи  $\beta$ .

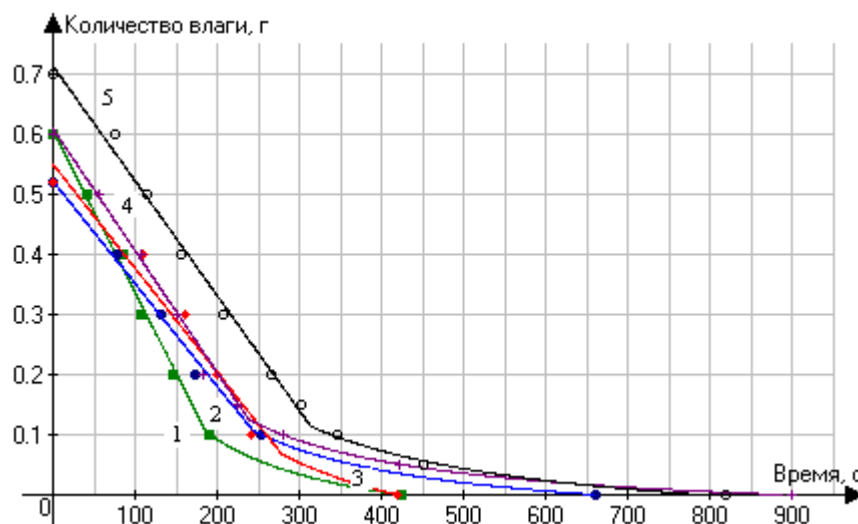


Рис. 2. Изменение содержания влаги в материале от времени сушки при скорости воздуха:  
1 – 0,72 м/с; 2 – 0,58 м/с; 3 – 0,43 м/с; 4 – 0,75 м/с; 5 – 0,75 м/с  
и температуре 130 °С

Вид критериальных зависимостей находился преобразованием дифференциального уравнения конвективного массообмена методами теории подобия с последующим определением показателей степеней и констант в полученном уравнении.

Экспериментальные зависимости коэффициента скорости испарения  $\beta$  от скорости обтекания материала воздухом  $w$  при постоянстве физических параметров среды имеют следующий вид:

$$\beta = A \cdot w^n,$$

где  $A$  и  $n$  – опытные коэффициенты.

Прологарифмировав данное выражение, получаем:

$$\lg \beta = \lg A + n \cdot \lg w.$$

Зависимости коэффициента скорости испарения  $\beta$  от скорости обтекания материала воздухом  $w$  в логарифмических координатах  $\lg \beta - f(\lg w)$  для определения коэффициента  $A$  и показателя степени  $n$  представлены на рис. 3.

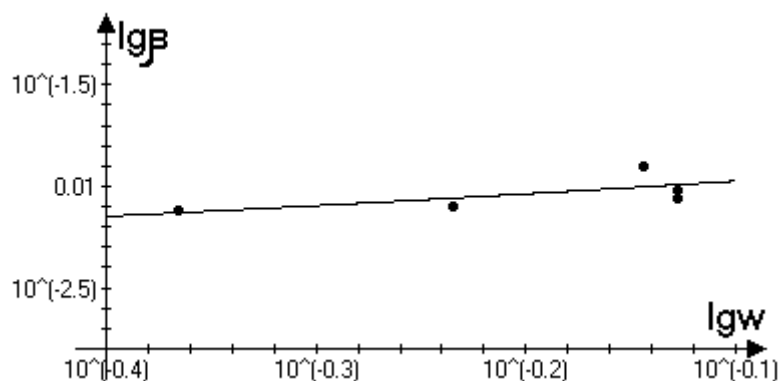


Рис. 3. Зависимость коэффициента массоотдачи от скорости воздуха

Уравнение прямой зависимости коэффициента массоотдачи от скорости воздуха имеет вид:

$$0,5540823 \cdot x - 1,928157.$$

Из данного уравнения прямой находим опытные коэффициенты  $A$  и  $n$ . Коэффициент  $A$  определяется из уравнения прямой:

$$\lg A = -1,928157; \quad A = 0,012.$$

Коэффициент  $n$  определяется также из уравнения прямой:

$$n = \operatorname{tg} \alpha = 0,5540823.$$

Таким образом, полученная зависимость коэффициента скорости испарения от скорости воздуха имеет вид:

$$\beta = 0,012 \cdot w^{0,55}.$$

Также было изучено влияние температуры теплоносителя на коэффициент массоотдачи. Была получена следующая зависимость:  $\beta = 0,028 \cdot T^{0,03}$ , которая свидетельствует о том, что температура теплоносителя не влияет на коэффициент массоотдачи. Это обусловлено тем, что с ростом температуры теплоносителя коэффициент молекулярной диффузии  $D$  растет пропорционально  $T^{2/3}$ , но при этом также увеличивается вязкость газа и, следовательно, увеличивается и толщина ламинарного слоя  $\Delta$ .

Полученные зависимости могут быть использованы в расчетах сушилок для сушки карбоната кальция. Практически на всех обогатительных фабриках химических заводов есть цеха сушки. На сушку расходуется до 12 % добываемого топлива, поэтому правильный выбор сушильного оборудования, интенсификация процесса сушки позволит снизить энергоемкость процесса. Как показали наши опыты, сушка конверсионного карбоната кальция в трубах-сушилках позволит сократить расход топлива на тонну испаряемой влаги в 1,5–2 раза, расход металла также сокращается в 2–3 раза по сравнению с барабанными сушилками. Влагонапряжение труб-сушилок при одинаковых режимах в 10–15 раз выше, чем в барабанных сушилках.

#### *Библиографический список*

1. Ермаков С.А. Тепло-массообменные процессы и аппараты химической технологии: учебно-методическое пособие / С.А. Ермаков, Г.К. Лисовая, Г.В. Инюшкин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 84 с.

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

*Ермолаев К.Д., Горинов О.И., Семин Е.С.*

*Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина*

*E-mail: tevp@tvp.ispu.ru*

Твердые бытовые отходы имеют практическое значение как источник энергетического топлива, так как использование их из-за массового производства имеет актуальное значение.

Энергетическая ценность ТБО сравнима с рядом низкокалорийных топлив, применяемых в энергетике. По результатам эксперимента проводился технический анализ органической части бытовых отходов, который определил: теплота сгорания низшая в массе ( $Q_n^p$ ) 16,5 МДж/кг.



На данный момент существует ряд технологий получения энергии при переработке ТБО. Наиболее распространенным и широко применяемым способом является сжигание. К числу недостатков этого способа относятся выбросы в атмосферу некоторых вредных веществ (диоксин, фуран), этим обусловлены значительные денежные затраты на очистку отходящих газов [3].

Переработка ТБО методом пиролиза отличается от непосредственного сжигания тем, что он уменьшает загрязнение окружающей среды. С помощью пиролиза можно перерабатывать органические составляющие отходов, трудно подающиеся утилизации (автопокрышки, отработанные масла и т. д.) [1].

Помимо пиролиза существует газификация (высокотемпературный пиролиз). Технологическая цепь этого способа утилизации состоит из нескольких последовательных этапов: переработка отходов в газификаторе для получения синтез-газа и побочных химических соединений (хлор, азот, фтор), а также шлака; очистка синтез-газа с целью повышения его экологических свойств и энергоемкости; сжигание очищенного синтез-газа в котлах-утилизаторах для получения пара, горячей воды или электроэнергии [2].

Газификация дает возможность экономически выгодно, экологически чисто и технически относительно просто перерабатывать ТБО без их предварительной подготовки: сушки, сортировки и т.д. Газификация одно из самых перспективных направлений переработки ТБО.

#### *Библиографический список*

1. Пан Л.П. Сб. статей лаб. биогеохим. оценок загрязнения окружающей среды. Ин-т водных и экол. проблем ДВО РАН.
2. Родионов А.И., Клушин В.Н., Систер В.Г. Технологические процессы экологической безопасности. Калуга: Изд-во Н. Бочкаровой, 2000. 800 с.
3. Чередниченко В.С., Казанов А.М., Аньшаков А.С. и др. Современные методы переработки твердых бытовых отходов. Новосибирск: Институт теплофизики СО РАН, 1995.

### **ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

*Золотарева Е.Г., Глянченко В.Д., УрФУ  
Седов Н.П., Уральский государственный горный университет  
E-mail: zolot-eg@mail.ru*

В условиях современного производства проблемы ресурсосбережения затрагивают каждую отрасль промышленности, их разрешение заключается не только в экономии ресурсов и электроэнергии, но и в поиске новых альтернативных материалов или улучшении характеристик имеющихся при получении достаточного экономического эффекта. Для развивающейся отрасли гидрометаллургии – подземного выщелачивания – одним из основных направлений ресурсосбережения является совершенствование методов извлечения драгоценных металлов из промышленных растворов. Используемый в данной технологии метод адсорбции предполагает применение эффективных материалов, в качестве которых хорошо себя зарекомендовали углеродные сорбенты. При малых концентрациях тяжелых металлов в продуктивных растворах

(0,1-0,5 мг/дм<sup>3</sup>) и агрессивной среде выщелачивающих реагентов сорбент должен обладать высокими показателями сорбционной способности по целевым металлам и повышенными значениями характеристик химической стойкости и прочности в связи с длительным контактом с данными растворами в технологическом процессе. Применение оптимальных, устойчивых к хлорсодержащим реагентам углеродных сорбентов для данной технологии позволяет значительно снизить энергозатраты производства, связанные с возникающим нарушением режима эксплуатации адсорберов при использовании обычных сорбентов, избежать дополнительных расходов на применение способа обесхлоривания продуктивных растворов и обеспечить полноту извлечения благородных металлов из малоконцентрированных продуктивных растворов. В этом случае для реализации сорбционного метода необходимы промышленно-доступные, дешевые активные угли с повышенными значениями перечисленных характеристик.

Одним из известных способов улучшения качеств сорбентов является модифицирование реагентами неорганического и органического происхождения, а также окисление поверхности активных углей различными способами, например, окисление кислородом воздуха при температурной обработке, озонирование или применение растворов окислителей. Термическое или жидкофазное реагентное модифицирование углеродных сорбентов позволяет, не изменяя природу промышленных активных углей, преобразовывать химическое состояние поверхности, характер распределения транспортной пористости (объема мезо- и микропор), что приводит к увеличению их сорбционной емкости и изменению прочностных характеристик.

С учетом ограничения по стоимости изготавливаемого промышленностью угля, использованию его в вышеуказанной технологии, особое внимание в настоящем исследовании было уделено гранулированному АУ марки АГ-3. Были проведены исследования модифицированных АУ водными растворами неорганических кислот (борной, фосфорной, соляной), растворами щелочей, водными окислителями и термическим модифицированием. В результате проведенных исследований выявлено, что обработка кислотой приводит к увеличению практически в 2 раза площади микропор, которые играют главную роль в процессе сорбции золота. При этом происходит упрочнение сорбента на 6 %, причем при обработке кислотой в течение небольшого времени контакта прочность оказывается больше, чем при более длительной обработке. Кислота улучшает связку (т.е. смоляной кокс), но при этом воздействует на основную массу частиц. Количество микропор увеличивается за счет растворения минеральных компонентов угля. При более длительном воздействии кислоты на АГ-3 количество микропор уменьшается. Обработка щелочью приводит к некоторому увеличению прочности, но при этом уменьшается площадь микропор и, как следствие, сорбция золота. Температурное модифицирование и обработка водными окислителями показали более низкие значения сорбционной способности и прочности.

Таким образом, применение предварительного модифицирования активного угля марки АГ-3 раствором кислоты позволит не только повысить количество адсорбированного золота, но и улучшить технико-экономические показатели

производства, увеличить эффективность ресурсосбережения за счет повышения прочностных свойств используемого сорбента, и в результате этого продлить срок его службы, исключить его потери, снизить энергозатраты производства, связанные с нарушением режима работы адсорберов.

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЗОЛ И РЕЖИМА СЖИГАНИЯ УГЛЯ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ АКТИВАЦИЮ ЗОЛ ТЭС

*Зыбина Е.С., Уфимцев В.М., Капустин Ф.Л.*  
*УрФУ*

Щелочные выбросы, например основные золы, являются проблематичными для складирования, поскольку при контакте с водой образуют едкие щелочные композиции с  $pH = 10...13$ . Так как все крупные ТЭС страны используют водные технологии золошлакоудаления, то вероятность чрезвычайных ситуаций, связанных с аварийным выбросом щелочных стоков из отвалов ТЭС, остается весьма высокой. Наилучшим вариантом исключения опасности такого рода следует считать переработку токсичных выбросов в продукцию, востребованную рынком. Ранее установлено, что основные золы, как правило, обладают определенными вяжущими свойствами, низкий уровень которых обусловлен неполным связыванием извести в гидравлически активные фазы вследствие краткости прогрева зольных частиц в котлах ТЭС [1, 2].

Целью настоящей работы является сравнение результатов исследования по термоактивации высококальциевых зол. Указанное связано с изменением ассортимента сжигаемых углей на Березовской ГРЭС. В частности, пробы зол 4 и 5 (табл. 1), отобранные в 2009 г., содержат в сравнении с золами 1-3 отбора 1990 г. и позднее повышенное содержание извести [3].

Сравнивали пять проб золы, отличающихся генезисом и технологиями сжигания топлива. В табл. 1 содержатся данные по их химическому составу и дисперсности. Проба 2 получена при сжигании угля в циркулирующем кипящем слое (ЦКС). Проба 3 представляет собой продукт грануляции золы 1 и последующего пятилетнего атмосферного хранения гранул. Остальные пробы зол получены при факельном сжигании топлива.

Таблица 1

Свойства зольных проб

№	Проба зола	Дисперсность		Содержание оксидов, масс. %						
		$R_{008},$ %	$S_{уд.пов.},$ м <sup>2</sup> /кг	$\Delta m_{пр}$	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
1	Березовская	4,0	378	1,4	19,4	10,6	7,3	40,3	6,2	11,8
2	Березовская*	6,0	689	11,2	20,7	10,9	12,9	31,9	4,6	6,7
3	Березовская <sup>+</sup>	14,0	-	11,7	17,3	9,4	6,4	35,6	5,5	10,4
4	Березовская	4,0	476	5,3	20,2	10,6	6,7	48,1	3,4	8,6
5	Березовская	0	-	0,5	16,2	8,7	8,6	57,6	6,2	5,1

$R_{008}$  – остаток на стандартном сите с ячейкой 80 мкм,  $S_{уд.пов.}$  – удельная поверхность,

\*- от сжигания угля в установке циркулирующего кипящего слоя (ЦКС),

<sup>+</sup> - молотая гранулированная

Методика испытаний идентична методике, описанной в предыдущем исследовании [3].

В табл. 2 приведены результаты сделанных определений.

Пробы золы от сжигания Березовского угля 2 и 4 отобраны из золоуловителей Березовской ГРЭС (Красноярский край, пос. Шарыпово) в разные годы, причем последние из них – пробы 4 и 5 в начале и во второй половине 2009 г. Указанная ГРЭС относится к станциям с «твердым шлакоудалением», имеющим умеренную температуру сжигания топлива порядка 1300-1400 °С. Особый интерес представляет проба 5, которая отличается максимальным содержанием оксида кальция. Ожидалось, что при повышении температуры до уровня 1225 °С удастся повысить вяжущие свойства золы, однако при данной температуре произошло оплавление образцов.

Таблица 2

Свойства исходных зол и термоактивированного продукта на их основе

№ проб	Параметры	Исходн. зола	1150 °С	1180 °С	1200 °С		1225 °С
			12,5 мин	10 мин	2,5 мин	5 мин	6 мин
1	СаО <sub>св.</sub> , %	2,3	0,2	-	0,5	0	-
	г <sub>008</sub> , %	4,0	-	-	10	8	-
	ВВО	0,5	0,4	-	0,6	0,4	-
	Начал схв. *	>20	14	-	-	7	-
	R <sub>сж</sub> **/сутки	20/1	<b>58/1</b>	-	9/1	<b>43/1</b>	-
	R <sub>сж</sub> **/сутки	41/2	<b>80/6</b>	-	12/7	<b>65/6</b>	-
2	СаО <sub>св.</sub> , %	5,2	0,2	-	-	0,3	-
	г <sub>008</sub> , %	6,0	16	-	-	14	-
	ВВО	0,6	0,3	-	-	0,4	-
	Начал схв. *	>20	8	-	-	3	-
	R <sub>сж</sub> **/сутки	0/1	<b>95/2</b>	-	-	<b>61/1</b>	-
	R <sub>сж</sub> **/сутки	6,2/7	<b>138/6</b>	-	-	-:	-
3	СаО <sub>св.</sub> , %	0,6	-	-	0,4	1,1	-
	г <sub>008</sub> , %	14	-	-	8	10	-
	ВВО	0,4	-	-	0,6	0,3	-
	Начал схв. *	2	-	-	4	16	-
	R <sub>сж</sub> **/сутки	15/1	-	-	0	12/1	-
	R <sub>сж</sub> **/сутки	16/7	-	-	0	15/1	-
4	СаО <sub>св.</sub> , %	7,3	-	-	0,9	0,2	-
	г <sub>008</sub> , %	4,0	-	-	8	14	-
	ВВО	0,4	-	-	0,3	0,3	-
	Начал схв. *	8,0	-	-	6	3	-
	R <sub>сж</sub> **/сутки	98/3	-	-	77/1	<b>120/1</b>	-
	R <sub>сж</sub> **/сутки	-	-	-	70/7	<b>169/7</b>	-
5	СаО <sub>св.</sub> , %	12,0	-	5,3	8,4	3,6	4,1
	г <sub>008</sub> , %	0	-	8	0	6	16
	ВВО	0,3	-	0,3	0,3	0,8	0,2
	Начал схв. *	6	-	4	4	9	3
	R <sub>сж</sub> **/сутки	21/1	-	0	6/1	9/1	6/1
	R <sub>сж</sub> **/сутки	43/12	-	27/6	-	-	61/6

ВВО - водовязущее отношение; \* - начало схватывания в минутах от момента затворения вяжущего водой; \*\*-R<sub>сж</sub>/сутки – прочность на сжатие в кгс/см<sup>2</sup> после твердения в течение указанных в знаменателе суток.

Из представленного в таблице следует, что зола Березовского бурого угля проявила способность к термоактивации независимо от технологии его сжигания. Для факельного сжигания зафиксировано увеличение суточной прочности более, чем в два раза, а в более поздние сроки твердения – в полтора раза, причем указанный результат достигнут при нагреве до 1150 и 1200 °С и выдержке 12,5 и 5 минут соответственно.

Отмечая сравнительно низкую активность как исходной, так и термоактивированной золы пробы 5, имеющей максимальное содержание извести, следует предположить, что отмеченное понижение активности обусловлено дефицитом в ее составе кислых оксидов, и, прежде всего, кремнезема, как одного из базовых оксидов в синтезе силикатов кальция. Кроме того, повышенное содержание в ее составе «плавней» в виде оксидов железа и алюминия понизило температурный уровень плавления данной пробы, что снизило возможности твердофазовой активации. Из указанного вытекает, что доля извести в золе не единственный критерий ее вяжущего потенциала, но он должен дополняться сбалансированным набором кислотных оксидов. Существенно, что гранулированная зола пятилетнего атмосферного хранения (проба 3) в сравнении с исходной золой (проба 1) снизила гидравлическую активность. Полагаем, что грануляция и последующее атмосферное воздействие ускорили переход зольной структуры в равновесное состояние. Наибольший эффект от термоактивации отмечен для Березовской золы, полученной при факельном сжигании (проба 4), при использовании температуры обжига 1200 °С и выдержке 5 мин и Березовской золы, полученной сжиганием в котле ЦКС (проба 2), что, вероятно, обусловлено низкой температурой сжигания угля в данной технологии, обычно не превышающей 900 °С. Важен и тот факт, что обе пробы золы отличаются повышенным содержанием СаО, что благоприятствует синтезу высокоактивных гидравлических фаз и, как результат, повышению прочности при термической обработке. Таким образом, существует реальная возможность получения зольного вяжущего при минимальных энергозатратах. В тоже время утилизация золы обеспечивает максимально полное использование минерального ресурса и, одновременно, исключает потребность в его отвальном складировании.

### *Библиографический список*

1. Савинкина М.А., Логвиненко А.Т. Золой канско-ачинских бурых углей. Новосибирск: Наука, 1979. 165 с.
2. Малооков Е.Д., Щербин С.П., Петровский М.Б. Термоактивирование доменного шлака и новый вид продукции // Цемент и его применение. 1999. № 3. С. 28-30.
3. Зыбина Е.С., Уфимцев В.М. Термическая активация зол ТЭС // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009 г, научно- практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. 14-18 декабря 2009 г. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 379-381.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ СОЛЯНОКИСЛЫХ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ТРАВИЛЬНЫХ СТОКОВ В ПРОЦЕССЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ БИОХИМИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Ибрагимова А.М., Аксенов В.И.*

*УрФУ*

*E-mail.tatiana\_vta@mail.ru*

В 70-е годы для травления металлоизделий (полосы, листы, метизы и др.) вновь стали использовать соляную кислоту. Травление в соляной кислоте увеличивает скорость процесса и значительно улучшает качество поверхности протравленного металла.

В процессе травления образуются сточные воды, к которым относятся отработанные травильный раствор; вода, использованная для промывки поверхности металла; вода из абсорберов после очистки воздуха, отсасываемого из ванн; кислотосодержащие воды после промывки оборудования и др. Сброс кислотосодержащих и железосодержащих вод без очистки в городскую канализацию или открытые водоемы невозможен.

Полученные солянокислые растворы большого объема наиболее экономично обрабатывать методом термогидролиза (метод Рутнера) в одном регенерационном аппарате, при этом соляная кислота почти вся возвращается в производство, и в качестве побочного продукта образуется полностью утилизируемый – оксид железа.

Отработанные солянокислые травильные стоки малого объема (до 1 м<sup>3</sup>/сут.) на термогидролизных установках обрабатывать экономически невыгодно, поэтому в практике применяют различные нейтрализационные методы, из которых наибольший интерес заслуживает их использование в качестве коагулянтов для обработки, например осадков биохимических очистных сооружений.

Целью данной работы было получение на основе этих стоков коагулирующего состава и использование его для сгущения и обезвоживания осадков биохимических очистных сооружений. Для исследования были использованы натурные травильные стоки и осадки городских станций аэрации.

В работе необходимо было решить, как осуществлять нейтрализацию свободной кислоты; как проводить окисление Fe<sup>2+</sup> до Fe<sup>3+</sup> и какие добавки использовать для активации состава.

Нейтрализация свободной соляной кислоты осуществлялась различными щелочесодержащими металлургическими отходами, а также известковым молоком и щелочью. Остановились на комбинированной обработке отходами и известковым молоком с доведением системы до pH 8,5...9.

Окисление железа осуществлялось различными методами (с использованием окислителя и без). Остановились на окислении кислородом воздуха (барботаж). Среднее время окисления при pH 8,5...9 составляет 35...40 мин.

Свежеполученная суспензия и является готовым коагулянт, который нужно дозировать в осадок. Для испытаний был использован натурный осадок Южной очистной станции аэрации г. Екатеринбурга.

При дозе коагулянта (неокисленного и окисленного) в пересчете на сухое вещество  $100 \text{ мг/дм}^3$  обезвоживание осадков шло удовлетворительно. Скоагулированный осадок, таким образом, по своим фильтрованным характеристикам аналогичен обычным осадкам биохимических очистных сооружений, прошедшим флокулирование, и обезвоживаемых на широко применяемых вакуум-фильтрах со сходящим полотном, горизонтальных непрерывнодействующих фильтр-прессах и шнековых центрифугах. В качестве флокулянта применяли Аквапол.

В результате проведенных исследований была отработана технологическая схема установки для получения коагулирующего состава (рис. 1). Это позволило нам сравнить по стоимости нашу установку, которая будет распространяться на биохимических очистных сооружениях (коммунальных и производственных), строительство и оплата эксплуатации которой будет производиться за счет организации (завода) – продуцента ОТР, с предлагаемой зарубежной термической. Мы выбрали ее как наиболее подходящую из трех рассматриваемых вариантов (два европейских и американский). Стоимость нашей и зарубежной установки, как и ожидалось, значительно отличаются. Так, зарубежная термогидролизная установка (капвложения) «потянула» на 33 млн. руб., наша – 3,5. Остальные затраты имеют примерно то же соотношение.

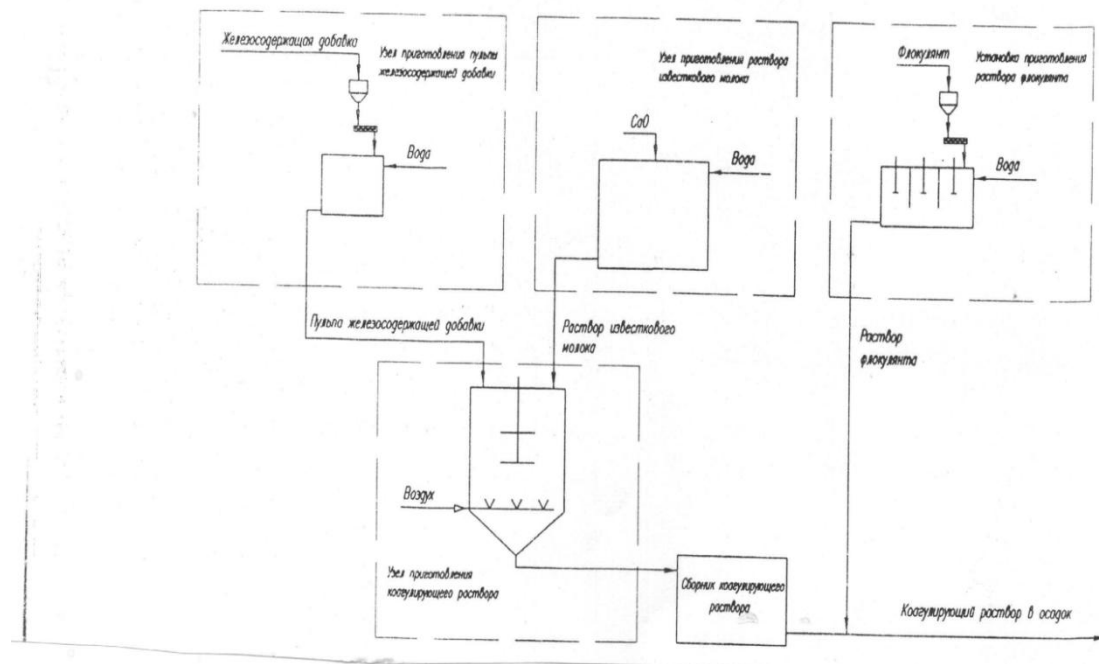


Рис. 1. Схема установки получения коагулирующего раствора

В качестве заключения можно констатировать, что отработанные солянокислые железосодержащие травильные стоки до  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$  могут быть успешно утилизированы на очистных сооружениях биохимической очистки коммунальных и производственных сточных вод, что одновременно приводит к значительной экономии коагулянтов.

### *Библиографический список*

1. Травильно-регенерационные комплексы / В.И. Аксенов и др. М.: Теплотехник, 2006. 240 с.
2. Водное хозяйство промышленных предприятий. Кн. 6. Флокулянты: справочное издание / В.И. Аксенов и др. М.: Теплотехник, 2010. 256 с.

## **ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ КЛАССИФИКАТОРА ДЛЯ ПНЕВМОКЛАССИФИКАЦИИ ШПАТА**

*Камусин А. А., Пономарев В. Б.*  
*УрФУ*  
*[amar@r66.ru](mailto:amar@r66.ru)*

Полевой шпат широко применяется в стекольной и керамической промышленности в качестве одного из компонентов сырья. Гранулометрический состав шпата регламентируется отраслевыми стандартами и требованиями технологии. Так, например, стекольные заводы предпочитают шпат без пылевых фракций, чтобы уменьшить унос при загрузке печей. С другой стороны, в керамической промышленности шпат подвергается тонкому измельчению.

ОАО «Вишневогорский горно-обогатительный комбинат» является одним из крупнейших производителей полевого шпата в Уральском регионе. Продукт, получаемый на предприятии после флотационного обогащения и сушки, имеет высокое содержание пылевой фракции 0-125 мкм (до 40-50 %). По согласованию с большинством потребителей стекольной промышленности, содержание данной фракции в поставляемом шпате не должно превышать 20 %, что требует введения в технологическую линию операции разделения по крупности на два продукта.

Для решения поставленной задачи разработан комбинированный многоколонный классификатор, реализующий последовательную перечистку крупного продукта разделения. Производительность по исходному сырью – 25 т/ч. Аппарат содержит 16 сепарационных шахт, расположенных в два ряда, по 8 в каждом ряду. Шахты разделены по высоте на 5 секций, в каждой из которых установлены пересыпные полки в виде треугольных пластин. Общий расход воздуха через аппарат может варьироваться в пределах 8-16 м<sup>3</sup>/ч.

Общий вид установки разделения шпата представлен на рис. 1. Исходный материал от сушильных барабанов подается ленточным транспортером 1 в пневматический классификатор 2. Воздушный поток поступает в аппарат через отверстия в кожухе 3 и газораспределительную решетку 4 за счет разрежения, создаваемого вентилятором 5 (ДН № 11). Очистка отработанного воздуха осуществляется в циклонах 6 (ЦН-15-700), и рукавном фильтре 7 (КФЕ-144). Загрузка и разгрузка всех продуктов осуществляется через гибкие рукавные разгрузители 8, которые препятствуют подосу воздуха и обеспечивают непрерывный и равномерный поток материала. Готовые продукты разделения отводятся на дальнейшую переработку шнеками 9. Регулировка границы разделения осуществляется изменением расхода воздуха с помощью шиберов 10 и расходомера 11. Очищенный воздух отводится в трубу сброса 12.



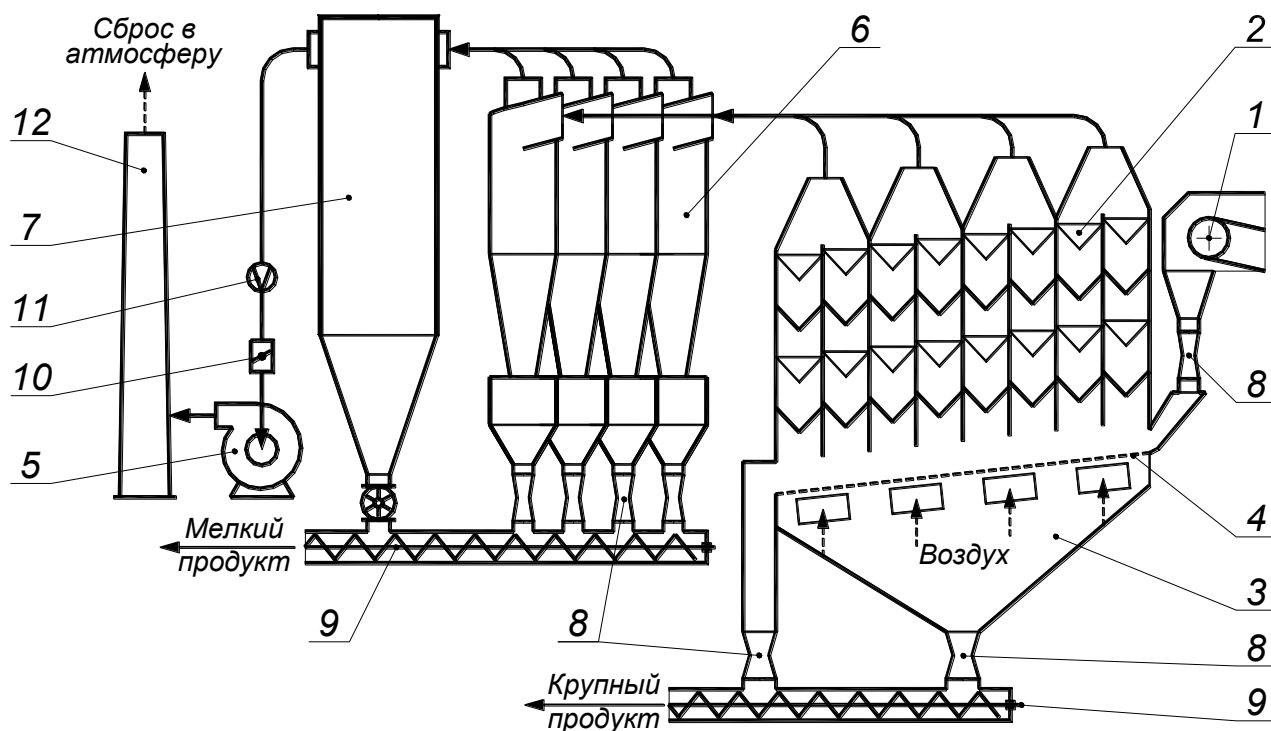


Схема промышленной установки разделения шпата:

1 – транспортер-питатель, 2 – пневматический классификатор, 3 – кожух, 4 – газораспределительная решетка, 5 – вентилятор, 6 – циклоны, 7 – рукавный фильтр, 8 – рукавные разгрузители, 9 – винтовые транспортеры, 10 – шибер, 11 – расходомер, 12 – труба сброса

В таблице приведены гранулометрические составы продуктов, полученных на промышленной установке.

Гранулометрические составы продуктов разделения полученных на промышленной установке и расчетные данные

Сита, мкм	Экспериментальные данные, полные остатки R, %						
	Исход. $R^3_{\text{и}}$	Циклон № 1	Циклон № 2	Циклон № 3	Циклон № 4	Мелк. $R^3_{\text{м}}$	Крупн. $R^3_{\text{к}}$
400	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3
315	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5
200	25,2	1,3	1,5	1,4	3,8	2,0	41,0
160	39,3	3,8	7,1	7,8	11,5	7,7	62,0
125	54,7	10,3	18,2	21,9	29,8	20,5	83,2
100	69,7	17,9	34,9	41,8	58,7	39,3	95,0
80	79,4	29,5	51,6	60,2	78,8	56,4	98,3
63	85,7	43,6	67,1	76,4	90,6	70,8	99,6
40	95,9	78,7	93,2	96,0	98,9	92,6	99,8
0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Из представленных в таблице данных следует, что поставленная задача успешно решается методом пневматической классификации. Аппарат запущен в промышленную эксплуатацию и к настоящему времени успешно работает уже около 3 лет.

# СОСТАВ И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО ЦЕМЕНТА С ДОБАВКОЙ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ ТЭС

*Капустин А.Ф., Ануфриева М.В., Семериков И.С.*

*УрФУ*

*E-mail: theabyss@el.ru*

Композиционный цемент – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным помолом портландцементного клинкера, гипсового камня и композиционной добавки, состоящей из двух и более минеральных компонентов. В соответствии с ГОСТ 31108-2003 цемент типа ЦЕМ V/A в качестве композиционной добавки может содержать смесь гранулированного доменного шлака (ДГШ) (11-30%) и золы-унос или пуццолана (11-30 %). Применение золошлаковой смеси (ЗШС) с отвалов ТЭС в составе данного цемента не допускается. Однако существующие цементные заводы не оборудованы узлами приема и транспортирования сухой золы, но могут принимать влажную ЗШС, сушить, дозировать и размалывать с клинкером по существующей технологии применения доменного шлака и помола цемента.

Цель работы – разработать состав и исследовать свойства композиционного цемента на основе портландцементного клинкера ЗАО «Невьянский цементник», ДГШ ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат» и ЗШС Верхнетагильской ГРЭС.

Исследованы состав и свойства ЗШС, отобранной с отвала Верхнетагильской ГРЭС. Установлено, что она не содержит видимых примесей в виде глины или других включений, является среднезернистой, по химическому составу – кислой, состоит в основном из стекла, кварца, магнетита и муллита, удовлетворяет требованиям ГОСТ 25592-91 и ТУ 34-70-10347-92 и может быть использована в качестве минеральной добавки при помоле цемента.

Подобраны составы композиционных цементов с различным содержанием ЗШС и ДГШ. В качестве контрольного состава был выбран портландцемент, содержащий 20 % ДГШ. Для регулирования сроков схватывания цементов использовали гипсоангидритовый камень. Составы композиционных цементов и их дисперсность приведены в табл. 1.

Таблица 1

Составы и дисперсность цементов

Номер состава	Состав цемента, %				Время помола, мин	Остаток на сите № 008, %	S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /кг
	клинкер	ЗШС	ДГШ	гипс			
1	79	10,5	10,5	4	75	5,5	325
2	75	12,5	12,5	4	70	5,9	321
3	70	15	15	4	75	5,9	333
4	65	17,5	17,5	4	75	5,9	325
5	60	10	30	4	80	5,8	356
6	60	20	20	4	80	5,8	326
7	60	30	10	4	65	5,7	334
8	80	-	20	4	75	5,7	274

Установлено, что увеличение содержания ДГШ в составе цемента ухудшает размалываемость и повышает удельный расход электроэнергии на помол композиционного цемента. При этом удельная поверхность полученных цементов практически не меняется с увеличением количества ДГШ и ЗШС. Результаты определения физико-механических свойств цементов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты физико-механических испытаний композиционных цементов

Номер состава по табл. 1	Нормальная густота теста, %	Сроки схватывания, ч–мин		Предел прочности при сжатии (1:0), МПа, при твердении	
		начало	конец	в воде, 28 суток	после пропаривания, 1 сутки
1	28,2	3–10	6–20	59,2	37,0
2	28,3	2–30	6–10	52,5	38,4
3	29,0	1–55	7–15	64,9	45,2
4	30,0	2–05	7–45	58,2	39,6
5	29,0	1–50	6–50	51,6	38,8
6	31,1	2–55	6–40	52,5	36,7
7	32,3	3–20	7–40	44,3	35,2
8	29,0	3–30	6–40	66,8	35,9

Увеличение количества композиционной добавки в составе цемента от 21 до 40 % и содержания в ней ЗШС повышает водопотребность и ускоряет схватывание вяжущего. Однако с увеличением содержания ЗШС в составе минеральной добавки сроки схватывания цемента удлиняются, но для всех составов они соответствуют требованиям стандарта.

Введение композиционной добавки в количестве более 21 % приводит к снижению прочности при сжатии цементного камня при нормальном твердении по сравнению с портландцементом, содержащим 20 % ДГШ (состав № 8), за исключением цемента, содержащего 30 % композиционной добавки (ДГШ:ЗШС = 1:1) (состав № 3). После пропаривания все золосодержащие цементы (кроме состава № 7) показали большую прочность при сжатии по сравнению с портландцементом с добавкой только ДГШ. Наибольшую прочность после пропаривания имеет также цемент состава № 3. Увеличение количества ЗШС в составе минеральной добавки незначительно снижает прочности цементного камня, особенно после пропаривания.

Таким образом, для производства композиционного цемента может быть рекомендован следующий состав, %: 70 клинкер, 15 ДГШ, 15 ЗШС и 4 гипса (сверх 100 %).

## ВЫБОР ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Климаев А.В., Павлович О.Н., Белоусова О.А.*

*УрФУ*

*[opavlovich@k66.ru](mailto:opavlovich@k66.ru)*

В работе приведены результаты выбора и расчета основного оборудования для очистки сточных вод цеха малой механизации ОАО «Уралмашзавод». Цех малой механизации осуществляет механическую обработку деталей, сбор-

ку гидравлических и пневматических узлов, а также гальваническое покрытие деталей и травление металлоизделий. На участке гальванопокрытий осуществляют процессы цинкования, кадмирования и хромирования.

Имея собственный участок в цехе малой механообработки по нанесению гальванических покрытий на детали и узлы агрегатов, резко встает вопрос о безопасности данного производства для окружающей среды.

По характеру сброса сточные воды гальванических цехов разделяются на периодические (концентрированные) и постоянно отводимые (промывные). Сточные воды цеха малой механообработки отводятся на очистные сооружения без разделения на промывные и концентрированные по двум отдельным трубопроводам - циансодержащие и хромсодержащие.

Сточные воды, поступающие на станцию нейтрализации, содержат ионы тяжелых металлов: цинка, никеля, кадмия, меди, хрома (III), хрома (VI), а также цианиды, сульфаты. Очистка гальванических сточных вод осуществляется методом реагентного обезвреживания, или реагентным методом, сущность которого заключается в переводе растворимых в воде ионов тяжелых металлов в нерастворимые при добавлении различных реагентов с последующим отделением их в виде осадков и с дальнейшим их фильтрацией.

По действующей технологии очистки сточные воды гальванического производства после реагентного обезвреживания, не соответствуют требованиям оборотной воды, предусмотренным ГОСТ 9.314-90, и превышают нормы ПДК.

В настоящее время на предприятии сбрасывают сточные воды от гальванического участка в общую оборотную систему предприятия, что приводит к накоплению в них тяжелых металлов.

Предложено усовершенствование схемы очистки сточных вод гальванического производства ОАО «Уралмашзавода», включающее в себя стадию очистки хромсодержащих сточных вод. Реагентный метод, применяемый в настоящее время, необходимо заменить на метод электрокоагуляции. Хромсодержащие сточные воды следует нейтрализовать в электрокоагуляторе с железными электродами, где произойдет восстановление Cr(VI) до Cr(III). У данного метода малая чувствительность к изменению параметров процесса, меньший расход реагента, установка занимает меньше пространства, а также существует возможность полной автоматизации процесса. Очистка хромсодержащих сточных вод в электрокоагуляторе с железными электродами основана на химическом восстановлении бихромат и хромат ионов ионами  $\text{Fe}^{2+}$ , образующимися при электролитическом растворении анодов, и в результате катодного восстановления  $\text{Fe}^{3+} + e \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ , а также гидроакисью железа  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , образующейся в обрабатываемой воде при взаимодействии  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{OH}^-$  ионов.

Электрокоагуляторы со стальными электродами относятся к нестандартному оборудованию. Корпус электрокоагулятора представляет собой прямоугольный резервуар, изготовленный из синтетических кислотостойких материалов (полиизобутилен, полипропилен и др.), или футерованный изнутри этими материалами. Электрокоагулятор оборудуется вытяжным вентиляционным устройством (например, бортовыми отсосами) для удаления газов, образу-

щихся при электролизе сточных вод. Целесообразно, чтобы дно электрокоагулятора имело небольшой уклон (до  $5^\circ$ ) в сторону выхода сточных вод.

В настоящее время наибольшее применение получили электрокоагуляторы с помещенными в них пакетами (блоками) плоских пластинчатых электродов, расположенных вертикально, параллельно друг другу.

Движение потока сточных вод в электрокоагуляторе следует осуществлять вдоль поверхности электродных пластин в вертикальном направлении (снизу вверх или сверху вниз) либо в горизонтальном направлении.

Электроды (катоды и аноды), помещаемые в электролизер, изготавливаются из низкоуглеродистой стали (Ст3, Ст4 и т. п.) и могут иметь толщину от 3 до 6 мм. Первоначальное расстояние между соседними электродами должно составлять 5...10 мм.

Электродные шины изготавливаются из медных (латунных) или алюминиевых прутков или полос, закрепляются на изоляторах на корпусе электрокоагулятора и соединяются с соответствующими полюсами источника постоянного электрического тока. Диаметры (сечение) электродных, а также токоподводящих шин (кабелей), соединяющих электролизер с источником тока, во избежание перегрева, рассчитываются на максимальную токовую нагрузку.

В работе представлены расчеты основных технологических характеристик электрокоагулятора – количество электродов, конструктивные размеры электрокоагулятора и величина тока в электрической цепи. При этом основными исходными параметрами для расчета являются: расход сточных вод; исходная концентрация шестивалентного хрома и ионов тяжелых металлов в сточных водах; анодная плотность тока; удельный расход электроэнергии, необходимый для обработки единицы объема сточных вод.

Предлагаемая схема очистки гальванических сточных вод позволит очистить воду до требований ГОСТ 9.314-90, и вернуть до 90 % очищенной воды в основное производство гальванических покрытий на ОАО «Уралмашзавод».

Выполненная технико-экономическая оценка реконструкции показала эффективность предлагаемого варианта. Результаты работы могут быть использованы при реконструкции станции нейтрализации действующего предприятия, что обеспечит существенную экономию водных ресурсов.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛЯННОЙ ДЕКОРАТИВНОЙ ПЛИТКИ**

*Козионова Ю.В., Васюцкая Я.О., Власова С.Г.  
УрФУ*

*E-mail: htss@fsm.ustu.ru*

Очень важным сегодня является снижение стоимости строительных материалов при разработке новых составов за счет использования более дешевых сырьевых материалов: отходов промышленности и местного сырья. Это приведет не только к снижению расходов в стекольном производстве, но поможет

решить и некоторые вопросы, связанные с охраной окружающей среды. Тема актуальна – ресурсо- и энергосберегающие технологии необходимы в настоящее время.

Целью работы являлось исследование возможности использования альтернативных красителей для изготовления декоративной облицовочной плитки. В связи с этим в исследовательской работе рассматривается возможность применения отходов производства низкоуглеродистого феррохрома в Уральском регионе, хромовой руды Алапаевского месторождения и отработанного катализатора ИМ-2201 (последовательно) для синтеза облицовочной плитки. Данная работа, связанная с синтезом и исследованием свойств зеленого заглашенного стекла, должна привлечь внимание производителей строительного облицовочного материала.

Добавка красителей в стекольную шихту составляла от 1,0 до 3,0 мас. % с шагом 0,25. Варка производилась в силитовой печи при температуре 1400 °С в течение 6 часов, отлитые в графитовые формы образцы отжигали в муфеле. Образцы получили от темно-зеленого прозрачного до оливкового заглашенного цвета.

Исследованы физико-химические свойства полученных образцов: химическая устойчивость, ТКЛР, предел прочности при сжатии, кристаллизационная способность, термическая стойкость. Синтезированные стекла шести составов по всем параметрам лежат в допустимом пределе для облицовочной плитки. Оптимальным можно считать состав:  $\text{SiO}_2$  – 72 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,7 %,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 13,1 %,  $\text{MgO}$  – 4,0 %,  $\text{CaO}$  – 7,0 %,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 2,0 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,2 %, исходя из технологической целесообразности (ТКЛР –  $93 \cdot 10^{-7}$  1/град; кислотостойкость – 99,8 %; щелочестойкость – 82,9 %; прочность при сжатии – 93,1 МПа; термическая стойкость – 128 °С).

Итак, в результате исследований удалось получить ряд прочных, химически стойких образцов с требуемыми характеристиками, но особое внимание уделяется стеклам с добавкой шлака «Ларнит». Они получились декоративными – кристаллы оксида хрома дали «авантюриновый» эффект, что повышает интерес к ним, расширяет возможности использования. Авантюриновое стекло применяется гораздо более широко в самых различных областях, благодаря все более прогрессивным технологиям стекольной промышленности. Вне профессиональной сферы зачастую авантюриновое стекло называют просто «авантюрин», имея в виду цветовую характеристику, а не состав материала, ценовая категория промышленного авантюринового стекла гораздо выше простого поделочного камня.

Используемый шлак «Ларнит» – это готовое силикатное сырье, поэтому его наличие в шихте позволяет снизить температуру варки стекла и ускорить процессы стекловарения. Применение переработанного шлака, содержащего  $\text{SiO}_2$  – 26,14;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 5,12;  $\text{MgO}$  – 13,38;  $\text{CaO}$  – 47,1,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 5,95;  $\text{FeO}$  – 1,16 мас. %, эффективно и с экономической точки зрения, так как является комплексным сырьевым материалом. Это позволяет экономить сырье, сократить расходы на его приобретение, снизить себестоимость облицовочной плитки.

Результаты исследований и анализ расчетов показали возможность использования «Ларнита» для получения авантюриновой облицовочной плитки, благодаря чему достигается максимальная экономия до 40 000 рублей на каждые 100 кг стекломассы.

С результатами работы ознакомлены уральские предприятия, получены положительные отзывы, заинтересовались также ювелирные кампании, есть заказы для оформления таким стеклом витрин в ювелирных магазинах.

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ АНТИСЕПТИКА «ЭЛЕМСЕПТ»**

*Козицына А. С., Баженова А. Л., Толкачева Л. Е.*

*УрФУ*

*E-mail:ksf@mail.ustu.ru*

В настоящее время производство антисептика в ОАО «Уралэлектромедь» основано на переработке медно – мышьякового кека, твердого отхода производства медного купороса, содержащего соединения меди, никеля и мышьяка. Технология производства антисептика заключается в извлечении водорастворимых примесей в процессе водного выщелачивания, последующем выделении из кека мышьяка в виде мышьяковой кислоты на операции кислого выщелачивания, ее дальнейшем концентрировании и смешении с оксидом меди и хромовым ангидридом. Степень извлечения составляет около 60 %.

Целью работы явилось изучение возможности повышения степени извлечения мышьяка в готовый продукт и экономии материальных и финансовых ресурсов предприятия.

Был проведен анализ процесса получения антисептика, сделан литературный обзор по проблеме, а также учтены результаты лабораторных исследований, проведенных Исследовательским центром ОАО «Уралэлектромедь».

Установлено, что в существующей схеме на первой стадии происходит выщелачивание сульфата меди и части мышьяковой кислоты, а практически весь мышьяк остается в виде нерастворимого соединения – арсената меди. Мышьяк извлекается из него только на второй стадии – кислого выщелачивания. Был изучен процесс щелочного выщелачивания взамен водного выщелачивания. В результате исследований доказана возможность перехода значительного количества мышьяка в раствор уже на первой стадии выщелачивания. Найдены оптимальные условия щелочного извлечения мышьяка гидроксидом натрия (твердожидкого соотношения, концентрации гидроксида натрия, температуры, продолжительности выщелачивания). Далее была проведена вторая стадия – кислое выщелачивание осадка. Установлено, что эффективное выщелачивание мышьяка происходит при меньшем расходе серной кислоты. Суммарная степень извлечения мышьяка при проведении двух стадий выщелачивания достигает 90 %.

После введения оксидов хрома и меди в раствор мышьяковой кислоты в соответствии с рецептурой был сделан сравнительный анализ составов анти-

септиков. Показано, что состав антисептиков по регламентированным обязательным компонентам, таким как оксиды меди, хрома и мышьяка соответствует требованиям технических условий ТУ 2157–107–00194429–2007. Однако в составе антисептика, полученного по щелочной технологии, выявлено значительное снижение количества водорастворимых соединений никеля, сурьмы и серы. Например, содержание солей никеля и сурьмы (в пересчете на Ni и Sb) уменьшается соответственно с 0,46 до 0,0024 и с 0,41 до 0,0375 % мас., общей серы с 2,19 до 0,99 % мас. Соединения никеля и сурьмы, не перешедшие в состав антисептика, могут быть полезно извлечены в других производствах предприятия. Также значительно (примерно в три раза) уменьшается выпадение солей сульфата меди, образующихся в процессе хранения антисептика, полученного по щелочной технологии, что позволит улучшить качество продукта.

Расчет материальных и тепловых балансов производства, конструктивный расчет реактора выщелачивания доказали возможность осуществления проектируемой технологии на имеющемся оборудовании. Ориентировочные экономические расчеты показали, что прибыль от усовершенствования производства составит 1,4 млн. руб. в год.

Таким образом, предлагаемое решение позволит повысить степень извлечения мышьяка до 90 %, уменьшить расход серной кислоты, увеличить выпуск продукции со 180 до 200 тонн в год и сэкономить материальные и финансовые ресурсы предприятия. Возможность реализации указанного количества антисептика подтверждена результатами маркетинговых исследований.

## **ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМА ОТХОДОВ ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ НА УСТАНОВКЕ ОКРАСКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ**

*Кременский П.В., Белоусова О.А., Павлович О.Н.  
УрФУ*

Наиболее распространенным методом защиты металлов и сплавов от коррозии являются защитные покрытия. Применяют металлические, оксидные, фосфатные и другие покрытия. Из органических покрытий наиболее распространены лакокрасочные покрытия. Примерно 80 % всех металлических изделий защищают с помощью лакокрасочных покрытий. Защитные свойства лакокрасочного покрытия обусловлены тем, что на поверхности защищаемого металла образуется сплошная пленка, которая, изолируя металл от окружающей среды, препятствует проникновению к нему агрессивных сред, тем самым, предохраняя его от разрушения.

Большой объем производства и потребления лакокрасочных материалов обуславливает образование значительного количества отходов. При выполнении окрасочных работ в воздух поступает красочный аэрозоль, а также пары растворителей. Например, при работе установки окраски металлических деталей машиностроительного предприятия ежегодно в атмосферу выбрасывается более 30 т летучих органических соединений.



Возможны следующие пути решения задачи охраны окружающей среды от загрязнений окрасочного производства:

- внедрение эффективных очистных сооружений;
- применение нетоксичных материалов;
- внедрение новых технологических процессов окраски со сниженной нагрузкой на окружающую среду.

Перспективным и экономичным является путь, при котором происходит сокращение выделения вредных веществ в самом источнике их образования. Это возможно путем применения нетоксичного сырья — порошковых лакокрасочных материалов. Рассмотрим возможные изменения использования новых технологических ресурсов и экономические показатели (табл. 1, 2).

Таблица 1

Расчет сокращения платы за выбросы органических растворителей

Загрязняющее вещество	ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Выбросы по старой технологии, т/год	Размер платы, руб./год	Выбросы по новой технологии, т/год	Размер платы, руб./год	Сокращение платы, руб./год
Бутилацетат	0,1	3,265	82,6	0,653	16,5	66,1
Ацетон	0,35	4,580	115,8	0,916	23,2	92,7
Диметилбензол	0,2	3,600	91,1	0,720	18,2	72,9
Метилбензол	0,6	5,415	137,0	1,080	27,4	109,6
Итого		16,860	426,6	3,372	85,3	341,3

Таблица 2

Расчет изменения годовых эксплуатационных расходов

Статья затрат	Затраты по эксплуатируемой технологии, тыс. руб./год	Затраты по проектному варианту, тыс. руб./год	Сокращение затрат, тыс.руб./год
Затраты на лакокрасочные материалы	312,7	288,5	24,2
Затраты на растворители	105,6	94,3	11,3
Энергозатраты	104,4	97,8	6,6
Амортизационные отчисления	12,5	8,0	4,5
Итого:	535,2	488,6	46,6

Рассчитанные капитальные затраты на внедрение технологии порошковой окраски невелики и составят на установке 143,9 тыс. руб. Укрупненный расчет (табл. 2) показывает, что срок окупаемости установки составит около трех лет.

Таким образом, с внедрением новой технологии произойдет сокращение выбросов растворителей на 80 %, что означает уменьшение воздействия предприятия на окружающую среду и сбережение используемых технологических ресурсов.

## КАСКАДНАЯ ПЕЧЬ В ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТА

Крючкова К.В., Фетисов Б.А.

УрФУ

E-mail: fba@k66.ru

Теплотехнологические процессы, протекающие в печах цементной технологии, характеризуются явно выраженной ступенчатостью [1]. При этом термодинамика процесса на каждой ступени определяется условием [2]:

$$\Delta G < 0. \quad (1)$$

Характерной особенностью ступенчатых теплофизических процессов в печах обжига является наличие определенного порога температуры, соответствующей началу протекания процесса. В случае равновесного изобарного процесса этот температурный уровень определяется условием:

$$\Delta G_{p,T} = 0. \quad (2)$$

Энергия Гиббса химической реакции  $\Delta G$  определяется свойствами исходных и конечных веществ реакции и температурой. Для стандартного состояния вещества:

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0, \quad (3)$$

и условие (1) может быть заменено условием:

$$T' > T, \quad (4)$$

где температура, соответствующая химическому равновесию,  $T$  определяется из уравнения (3) при условии равенства правой части нулю,  $T'$  - температура процесса.

Условие (1) определяет ступенчатый характер энергопотребления, присущий многим физико-химическим процессам, протекающим в печах при тепловой обработке сырья, особенно при обработке тонкодисперсных материалов. Однако реальная возможность протекания того или иного процесса определяется не только термодинамикой, но и кинетикой процесса [2].

Связь между энергией Гиббса химической реакции  $\Delta G$  и стандартной энергией Гиббса химической реакции  $\Delta G^0$  определяется изотермой Вант-Гоффа:

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln k_p, \quad (5)$$

откуда следует выражение для константы равновесия  $k_p$  ( $\Delta G=0$ ):

$$k_p = \exp(-\Delta G^0 / RT). \quad (6)$$

Вторым условием является обеспечение необходимой скорости протекания физико-химического процесса. В соответствии с принципом Ле Шателье, гетерогенное химическое равновесие (как и гомогенное) смещается под действием температуры и концентрации (парциального давления) в сторону, противоположную направлению внешнего воздействия. Из двух факторов (температура и давление) для интенсификации эндотермических процессов декарбонизации и дегидратации предпочтение, очевидно, должно быть отдано второму, так как повышение температурного уровня процесса, как правило, нежелательно по технологическим соображениям, поскольку приводит к ухудшению технических свойств получаемого продукта.

Важным условием снижения энергозатрат является повышение удельных съёмов или удельных производительностей за счет уменьшения времени пребывания материала в печи, что определяется двумя факторами: интенсивностью теплообмена и скоростью химических реакций. В общем случае, по указанным выше причинам, предпочтение должно быть отдано факторам интенсификации, не связанным с увеличением температурного уровня процесса, как известно, способствующего интенсификации обоих процессов.

Константа скорости реакции связана с температурой ( $T$ ) и энергией активации  $E_a$  уравнением Аррениуса:

$$k = k_0 \cdot \exp(-E_a / R \cdot T) \quad (7)$$

Влияние энергии активации на скорость реакции связано с особенностью протекания реакции через промежуточные состояния, изменяющие характер внутримолекулярных взаимодействий и требующих больших значений энтальпии, чем следует из условия (2).

Реакции дегидратации и декарбонизации являются гетерогенными: зона реакции (диффузионная зона) перемещается с внешней границы вглубь частицы по мере ее прогрева. Поэтому на скорость процесса, помимо константы скорости реакции, оказывают влияние форма и удельная поверхность частиц, теплопроводность твердой фазы и интенсивность внешнего теплового потока, скорость отвода газообразных продуктов реакции из реакционной (диффузионной) зоны. Любой из перечисленных механизмов в тех или иных условиях может лимитировать общую скорость процесса.

Важным обстоятельством является также известный факт замедления процесса ступенчатого химического превращения при одновременном протекании нескольких ступеней, имеющем место при достаточно высоком температурном уровне, при этом общая скорость процесса оказывается ниже скорости самой медленной ступени [2]. В случае ступенчатого процесса дегидратации этот факт может быть легко обоснован влиянием на скорость реакции увеличивающейся

концентрации паров воды за счет совместного протекания последовательных ступеней в одной реакционной зоне.

Очевидно, что достаточно широко распространенная в технологических печах ступенчатость теплотребления технологическим материалом должна учитываться при организации теплотехнологического процесса и выборе конструкции каскадной печи для его осуществления. Основное требование к конструкции каскадной печи – обеспечение возможности локального управления ступенчатым теплотехнологическим процессом с целью создания оптимальных условий для достижения максимально возможной его завершенности на каждой технологической ступени, что практически невозможно без разделения рабочего пространства печи на отдельные в определенной мере пространственно изолированные технологические зоны.

Как показал опыт эксплуатации на Уральском алюминиевом заводе построенной в 2004 году первой каскадной опытно-промышленной циклонной установки ОПЦУ-500, такой подход к конструированию печи позволил в 1,5 раза снизить уровень удельного расхода топлива (до 96...98 кг у.т./т глинозема); получить технологический продукт с содержанием б – глинозема от 3 до 6 % при  $\Delta m_{\text{пот}} < 1$  %, то есть с техническими свойствами, ранее недоступными отечественной промышленности [3].

Разрабатываемая технологическая схема получения цементного клинкера, основанная на использовании каскадной печи, включает систему подготовки шлама по мокрому способу, удаление избыточной влаги механическим путем, досушку сырья в трубе-сушиле (первый каскад печи), подогрев в циклонных теплообменниках, декарбонизацию, дополнительную ступень подогрева в циклонном теплообменнике, спекание в короткой вращающейся печи при минимально необходимой температуре на каждом каскаде; охлаждение клинкера.

### *Библиографический список*

1. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия. М.: Высш. шк., 2003. 527 с.
2. Коровин Н.В. Общая химия. 3-е изд., испр. М.: Высш. шк., 2002. 558 с.
3. Фетисов Б.А. Каскадные печи // Творческое наследие Б.И.Китаева: Труды Международной науч.-практ. конф. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 480–485.

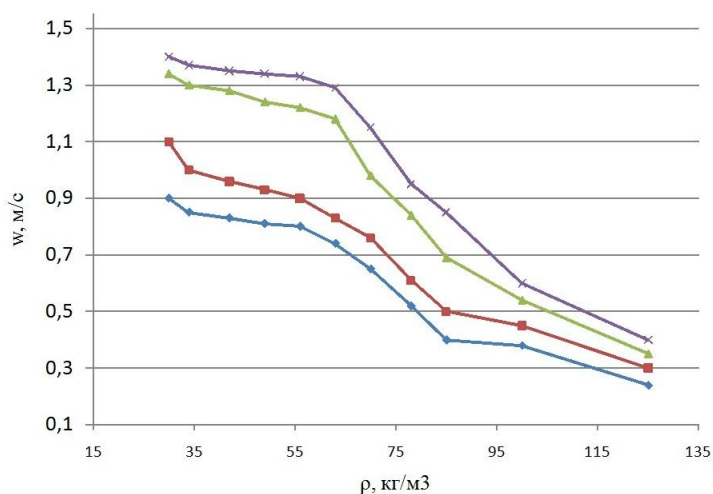
# ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА В СЛОЕ ТБО С ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

Малков А.В., Горинов О.И., Габитов Р.Н.  
Ивановский государственный энергетический университет  
имени В.И. Ленина, г. Иваново  
E-mail: tevp@tvp.ispu.ru

Основопологающим процессом в установках шахтного типа является процесс движения газов в слое ТБО – фильтрация газов. Актуальность проблемы состоит в том, что при загрузке несортированные депонированные ТБО имеют большое гидравлическое сопротивление и процесс движения газа, в этом случае, зависит от плотности.

Экспериментальная установка состоит из шахты, представляющей собой металлическую трубу диаметром  $d = 0,45$  м, в нижней части которой закреплена металлическая сетка для удержания слоя ТБО; участка выравнивания потока воздуха, состоящего из ряда направляющих сеток; расходомера; заслонки для регулирования расхода воздуха и воздуходувки.

Слой ТБО, предварительно высушенный, взвешивался на весах и загружался в шахту экспериментальной установки. Высота слоя измерялась линейкой. Воздуходувкой подавали в шахту воздух при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ . Расходомером фиксировался расход. Дифманометром измерялся перепад давления на входе в шахту перед слоем и на выходе из нее. Результаты эксперимента приведены на рисунке.



Зависимость скорости движения газа от плотности слоя ТБО  
Перепад давления: 1 – 30 Па, 2 – 50 Па, 3 – 70 Па, 4 – 100 Па

Изображенная на рисунке зависимость отражает уменьшение скорости газа с ростом плотности слоя ТБО. При плотности от  $20 \text{ кг/м}^3$  до  $55 \text{ кг/м}^3$  скорость движения газа практически не изменяется ввиду того, что слой ТБО неуплотненный, имеет большие поры. С плотности  $55\text{--}60 \text{ кг/м}^3$  и до  $120 \text{ кг/м}^3$  скорость газа резко уменьшается.

**Вывод.** Получены экспериментальные зависимости скорости движения газа от плотности слоя ТБО, которые можно использовать для расчета гидравлического сопротивления.

### *Библиографический список*

1. Мариенбах Л.М. Теория и конструкция заводских печей. М: Госнаучтехиздат, 1940.
2. Систер В.Г., Мирный А.Н., Скворцов Л.С., Абрамов Н.Ф., Никогосов Х.Н. Твердые бытовые отходы. М: Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова, 2001.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ТБО С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕПЛОТЫ**

*Малков А.В., Горинов О.И., Самышина О.В.  
Ивановский государственный энергетический университет  
имени В.И. Ленина, г. Иваново  
E-mail: tevp@tvp.ispu.ru*

Проблема полного уничтожения или частичной утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) – бытового мусора – актуальна, прежде всего, с точки зрения уменьшения отрицательного воздействия его на окружающую среду. Твердые бытовые отходы – это богатый источник вторичных ресурсов, а также «бесплатный» энергоноситель, так как бытовой мусор – возобновляемое углеродсодержащее энергетическое сырье для топливной энергетики. Как известно, подавляющая масса ТБО в мире пока складывается на мусорных свалках, стихийных или специально организованных в виде «мусорных полигонов». Однако это самый неэффективный способ борьбы с ТБО, так как мусорные свалки занимают огромные территории.

В настоящее время в мировой практике реализовано более десятка технологий переработки твердых бытовых и промышленных отходов [1, 2]. Наиболее распространенными среди них являются термические способы – сжигание, газификация и пиролиз. В процессе пиролиза идет распад органической части, образование и переобразование газообразных веществ, сопровождающееся выделением или поглощением тепловой энергии. Многокомпонентность органической составляющей ТБО порождает суммарный тепловой эффект процесса пиролиза, то есть появляется эффективная теплота. Эффективная теплота – это теплота процесса пиролиза, выделяющаяся в результате термического разложения органической части ТБО с выделением газообразных веществ. При выделении теплоты требуется меньше энергии на процесс разложения ТБО, при поглощении, наоборот, идет большее потребление энергии, что необходимо учитывать в расчетах и проектировании установок по термическому разложению ТБО.

Для определения эффективной теплоты пиролиза нами создана экспериментальная установка и проведены экспериментальные исследования.

### *Библиографический список*

1. Калинин В.И. Термическая утилизация твердых бытовых отходов. Красноярск: НИИ Стромкомполит, 2006.
2. [www.new-garbage.com](http://www.new-garbage.com)

## ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Мочалина Е.В., Золотарева Е.Г.

УрФУ

E-mail: [zolut-eg@mail.ru](mailto:zolut-eg@mail.ru)

Проблема очистки сточных вод различных производств сложна, так как сточные воды отличаются большим разнообразием загрязняющих примесей. Обычно предприятия располагаются на территории населенных пунктов, и сточные воды этих предприятий принимаются в городские канализации. Стоки предприятий пищевой промышленности, в частности ОАО «Жировой комбинат» г. Екатеринбурга, характеризуются большим содержанием жиров и органических веществ. На предприятии для рационального водопользования действуют системы оборотного водоснабжения и система сбора и повторного использования конденсата. Для очистки стоков перед сбросом в канализацию используют различные методы, начиная от отстаивания и заканчивая флотацией. Основная доля загрязнителей, извлекаемых из сточных вод предприятия в процессе очистки на локальных очистных сооружениях, направляется обратно на переработку или утилизацию, но в оставшихся стоках все же присутствует достаточное количество примесей, сбрасываемых в бытовую канализацию, которые обуславливают несоответствие очищенных стоков нормативным значениям. Действующий процесс очистки с эффективностью 80 % осложняется большой неравномерностью состава сточных вод в течение суток, поступающих из основных цехов, и резкими повышениями рН стоков с содержанием жира до 2000...2500 мг/дм<sup>3</sup>. Очистные сооружения предприятия оснащены оборудованием напорной флотации, но такая схема очистки не является совершенной, так как непрерывная работа эжекционного насоса не обеспечивает процесса оптимального образования флотокомплекса и снижает эффективность очистки. К тому же, действующая на очистных предприятия система насосов требует большого количества электроэнергии.

Цель работы заключалась в разработке модернизированной технологии очистки на основе действующих сооружений, что позволило бы с небольшими вложениями повысить эффективность процесса очистки и обеспечить ресурсо- и энергосберегающий эффект.

С учетом особенностей образования сточных вод предприятия, их состава, непостоянства концентрации загрязняющих веществ и непрерывности технологического процесса была предложена и обоснована замена напорной флотации флотацией при помощи пористых мембран, а именно замена эжекционных узлов флотаторов аэрационной системой АКВА-ПЛАСТ с подачей воздуха от компрессора. Замену рекомендуется проводить небольшим демонтажом части оборудования флотаторов и установкой систем пористых мембран в имеющейся аппаратуре. Использование компрессора вместо системы насосов позволит существенно снизить энергозатраты практически в 4 раза. Выбор был сделан с учетом того, что специфика данного метода наилучшим образом подходит для стоков, содержащих эфирорастворимые вещества и взвеси, а также обеспечивает оптимальные условия образования флотокомплекса. Расчет эффективности

работы модернизированной схемы показал 99 %-ный эффект очистки. Экономический эффект предлагаемой модернизации складывается из существенного снижения энергозатрат и ресурсосбережения, а также за счет исключения платы за сверхнормативный сброс.

Таким образом, оказывается, что экологический эффект, заключающийся в эффективной очистке стоков и уменьшении нагрузки на очистные сооружения города, является дополнением к энерго- и ресурсосбережению при внедрении на предприятии описанного проекта модернизации локальных очистных сооружений.

## **СЕРОБЕТОН – НОВЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ**

*Медведева Д.С.<sup>1</sup>, Агеева Е.С.<sup>1</sup>, Герасимова Е.С.<sup>1</sup>,  
Васильев В.Г.<sup>2</sup>, Владимирова Е.В.<sup>2</sup>, Чистякова Т.С.<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>УрФУ*

*<sup>2</sup>Институт химии твердого тела УрО РАН*

В настоящее время на территории России скопилось обширное количество серных отходов, а также различных шламов (в частности, шламы водоподготовки на ТЭС), при этом они никем не востребованы. Однако утилизация таких отходов возможна при производстве серобетонов. Серобетоны уже используют в Европе, при этом их цена ниже классических бетонов на портландцементе, а в России подобных производств не существует и технология создания строительных материалов на их основе практически не развивается [1].

Первыми потенциальными потребителями серобетонов могут быть дорожные службы, поскольку они – прекрасная альтернатива асфальтобетону и это подтверждено зарубежной практикой. Из серобетона также можно производить облицовочные материалы, наливные полы и распыляющиеся краски. К сожалению, в нашей стране серу в строительстве используют очень редко, несмотря на огромные ресурсы и ее невысокую стоимость. Ограничивающим фактором на наш взгляд является отсутствие исследований в данной области.

Серобетон - это новый композиционный материал, содержащий серное вяжущее, инертные заполнители и наполнители, а также модифицирующие добавки. В качестве вяжущего можно использовать техническую серу, серосодержащие отходы производств, серные руды, а в качестве заполнителей и наполнителей – как стандартные материалы, так и различные отходы промышленного производства (металлургические шлаки, шламы и др.).

Серобетоны обладают рядом положительных и уникальных свойств. В отличие от бетонов на основе портландцемента они набирают прочность сразу после охлаждения. Кроме этого они обладают высокой прочностью, химически стойки к ряду агрессивных продуктов, морозостойки. Использование серобетонов не ограничено погодными условиями, так как они могут набирать прочность и «работать» при отрицательных температурах. А бракованные изделия можно повторно использовать в производстве, в результате чего возможна практически безотходная технология производства.

В связи с вышесказанным на кафедре ТВМиСИ совместно с институтом ХТТ УрО РАН начаты работы по разработке составов и технологии производ-



ства серобетона. В результате первого этапа работы разработана рецептура серобетона на основе гранулированной серы, песка из отсевов дробления и наночастиц оксида алюминия, обладающего повышенной прочностью (заявка «Состав для серного бетона», рег. № 2010125787, дата поступления: 23.06.2010 г.) [2]. Далее планируется проводить исследования по разработке составов серобетона, содержащих отходы производства, в результате которых можно будет более точно определить экономический эффект производства и применения серобетона.

#### *Библиографический список*

1. Серобетон: анализ потенциального спроса: Отчет академии конъюнктуры промышленных рынков [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=3861&cat\\_id=5&page\\_id=4](http://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=3861&cat_id=5&page_id=4).
2. Васильев В.Г., Владимирова Е.В., Чистякова Т.С., Герасимова Е.С., Медведева Д.С., Агеева Е.С. Влияние добавки наноразмерного  $Al_2O_3$  на свойства серобетона // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов (XIX научные чтения): Сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. 5-8 октября 2010. Белгород: БГТУ им. В.Г.Шухова, 2010. С. 84-87.

### **ЗАВИСИМОСТЬ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ОТ ИХ СОСТАВА**

*Никитин М.Н.*

*Самарский государственный технический университет*

*nikitin-pro@mail.ru*

Теплоносители можно условно разделить на основные (водяной пар, вода, воздух) и альтернативные (смеси, технические жидкости и газы). Альтернативные тепловые агенты, как правило, загрязнены вредными для человека и агрессивными по отношению к материалам оборудования компонентами. С другой стороны, удельная стоимость производства альтернативных теплоносителей во многих случаях оказывается ниже стоимости основных.

#### *Паровоздушные смеси (ПВС)*

В состав паровоздушных смесей входят водяной пар и воздух. Недостатком ПВС является присутствие водяного пара, который необходимо вырабатывать отдельно (в паровом котле или другом парогенераторе).

Существенным преимуществом любой смеси перед однокомпонентными основными теплоносителями является простота регулирования термодинамических показателей теплового агента за счет изменения пропорций его компонентов. В общем случае базовым компонентом ПВС является водяной пар, а воздух выступает в качестве регулирующего компонента, т. к. общий случай ПВС предполагает подмешивание холодного воздуха (с температурой окружающей среды).

Паровоздушная смесь, в состав которой входит предварительно нагретый воздух, является частным случаем. Такой способ получения ПВС применим, когда основным регулируемым параметром смеси является не температура, а объем или влажность, например для термовлажностной обработки пиломатериалов [1].

### Газовоздушные смеси (ГВС)

В состав газовоздушных смесей входят продукты сгорания органических топлив и воздух. Другими словами, для получения ГВС используются термические отходы, т. е. осуществляется глубокая рекуперация теплоты уходящих дымовых газов. Однако, такие ГВС токсичны, что накладывает существенные ограничения на области их применения.

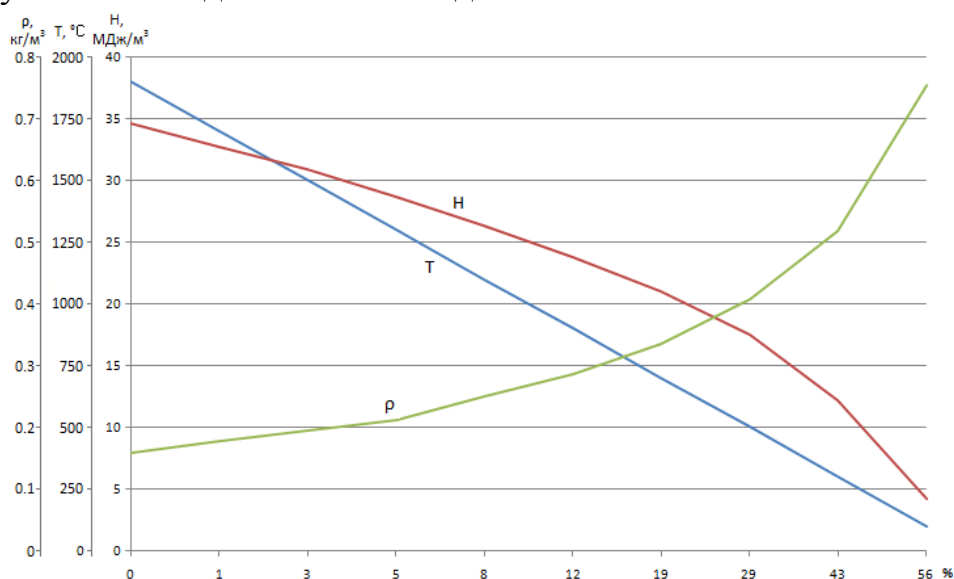
### Многокомпонентные парогазовые смеси (МКПГС)

Рассмотрим частный случай парогазовой смеси, в состав которой входят водяной пар и продукты стехиометрического сгорания природного газа (при адиабатической температуре  $2030^{\circ}\text{C}$ ) из газопровода Уренгой–Ухта ( $\text{CH}_4 = 98,72\%$ ;  $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,12\%$ ;  $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,01\%$ ;  $\text{C}_4\text{H}_{10} < 0,01\%$ ;  $\text{CO}_2 = 0,14\%$ ,  $\text{N}_2 = 1\%$ ) [2]. В данном случае основными компонентами дымовых газов будут азот ( $\text{N}_2 = 7,46 \text{ м}^3/\text{м}^3$  газа), углекислый газ ( $\text{CO}_2 = 0,99 \text{ м}^3/\text{м}^3$  газа) и водяной пар ( $\text{H}_2\text{O} = 2,13 \text{ м}^3/\text{м}^3$  газа) [2], поэтому такая смесь является многокомпонентной парогазовой.

Как и газовоздушные теплоносители МКПГС могут использоваться для глубокой утилизации теплоты уходящих дымовых газов, но весьма токсичны.

МКПГС имеют большой потенциал применения как в роли греющего теплоносителя (взамен водяного пара), так и в роли средства обработки (пропаривание бетона, термическая обработка). Значительное содержание в МКПГС углерода (до  $2 \text{ кг}/\text{м}^3$  газа) и азота (до  $1,5 \text{ кг}/\text{м}^3$  газа) позволяет использовать такие смеси в качестве основы углеродных и азотных подкормок.

Существует два основных способа выработки МКПГС: подмешивание водяного пара к потоку продуктов сгорания и впрыск воды в поток дымовых газов. Рассмотрим второй случай, когда не требуется отдельная выработка водяного пара. Вскипание впрыскиваемой воды резко снижает температуру потока за счет расхода теплоты на парообразование. Кроме того, мгновенное вскипание воды в ограниченном объеме приведет к скачку давления, т. е. к некоторому увеличению динамического давления МКПГС.



Зависимости основных термодинамических параметров МКПГС от доли подмешиваемого пара: Н – энтальпия МКПГС,  $\text{МДж}/\text{м}^3$ ; Т – температура МКПГС,  $^{\circ}\text{C}$ ; ρ – плотность МКПГС,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Разбавление базового компонента приводит к изменению удельной энтальпии (см. рисунок), причем диапазон энтальпий ГВС и МКПГС сопоставим ( $\sim 30 \text{ МДж/м}^3$ ) [5]. Однако значительная доля водяного пара в смеси означает, что при утилизации (охлаждении) МКПГС произойдет конденсация и кроме разницы энтальпий, к тепловому потоку добавится теплота конденсации.

#### *Заключение*

Все рассмотренные смеси имеют общую тенденцию к увеличению плотности пропорционально доле регулирующего компонента [4]. Причем диапазон значений плотности ГВС и МКПГС значительно шире, чем у ПВС, что объясняется сравнительно низкими температурами ПВС.

Температура смесей снижается пропорционально доле регулирующего компонента. Причем воздух оказывает весьма слабое влияние на температуру смеси (особенно ГВС), ввиду его малой теплоемкости, а впрыск даже небольшого количества воды приводит к резкому падению температуры МКПГС, ввиду ее значительной теплоемкости и затрачиваемой теплоты на парообразование [4].

Следует отметить, что, не смотря на всю значимость теплосодержания теплоносителя, решающим фактором, с точки зрения технологии, является степень утилизации теплоты, содержащейся в теплоносителе [5]. Так теплота конденсации водяных паров, входящих в состав ГВС и МКПГС, является весомым аргументом использования паросодержащих смесей. Утилизация теплоты является задачей теплоиспользующего оборудования, тем не менее, предпочтительнее использование теплоносителя, который позволяет проводить более глубокую утилизацию теплоты при прочих равных условиях.

#### *Библиографический список*

1. ГОСТ Р 19773-84. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия. Введ. 01.01.1985. М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1984. 17 с.
2. Григорьев К.А. Технология сжигания органических топлив. Энергетические топлива / К.А. Григорьев, Ю.А. Рундыгин, А.А. Тринченко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 92 с.
3. Клименко А.В. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / А.В. Клименко, В.М.Зорин. М.: Изд-во МЭИ, 2007. 632 с.
4. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара / С.Л. Ривкин, А.А.Александров. М.: Энергоатомиздат, 1984. 80 с.
5. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГКОПЛАВКОЙ ГЛИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО КИРПИЧА**

*Оглезнев А.Ю., Михайлова Н.А.  
УрФУ*

Работа выполнена для одного из предприятий по производству лицевого кирпича Пермского края. Предприятие работает на сложном составе массы, которая включает 6 сырьевых компонентов, в том числе содержит монтмориллоновую глину в количестве 34 % (по объему). Монтмориллонитовые глины

сложно ведут себя в процессе технологической переработки (трещины в сушке и другие явления). Поэтому появилась необходимость более детального изучения монтмориллонитовой глины кирпичного завода Пермского края. Данная работа является продолжением ранее выполненной работы по этому предприятию [1].

Химический состав глины для производства строительного кирпича (содержание оксидов, мас. %):  $\text{SiO}_2$  – 62,65;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 12,30;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 6,93;  $\text{CaO}$  – 2,63;  $\text{MgO}$  – 2,11;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 2,63;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,64; п.п.п. – 9,10.

По данным дифференциально-термического анализа – это монтмориллонитовая глина. Химический и ДТА анализ дают возможность ориентировочно оценить минеральный состав глины: монтмориллонит – 40...45; свободный кремнезем – 30; карбонаты – 5; гидроксиды железа – 8; магнезиальные силикаты – 7; прочие минералы – 5 %.

По методике [2] рассчитали кажущуюся энергию активации процессов удаления адсорбционной и химически связанной воды из монтмориллонита [2].

Определен гранулометрический состав глины (содержание грубозернистых включений и тонкозернистых фракций), пластичность, формовочная влажность, чувствительность к сушке, механическая прочность и морозостойкость (косвенный метод – отношение холодного и горячего водопоглощения) [3].

При температуре обжига 1050 °С образцы, сформованные из пластичной массы оптимальной формовочной влажности, имели общую усадку – 8,8 %, водопоглощение – 9,50 %, открытую пористость – 19,0 %, среднюю плотность – 1,99 г/см<sup>3</sup>. На некоторых образцах были следы пережога, т.е. их следует обжигать при более низкой температуре. После обжига при 1050 °С образцы имели темно-коричневый цвет.

#### *Библиографический список*

1. Михайлова Н.А., Акулова М.А., Меньшенин Д.А., Толмачева А.Н. К вопросу определения марки кирпича керамического // Строительство и образование: Сб. науч. тр. Вып. 10. Екатеринбург, 2007. С. 107-109.
2. Фотиев А.А., Мочалов В.В. Оценка величины кажущейся энергии активации с помощью дифференциальной термогравиметрии // Неорганическая химия. 1968. Т. 13. Вып. 12. С. 3174-3177.
3. ГОСТ 530-2007. Кирпич и камни керамические. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2008.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВА ЗАКЛЕПОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ**

*Окулов Р.А., Калинин Н.С., Паршин В.С.*

*УрФУ*

*successful555@gmail.com*

В настоящее время существуют различные способы производства заклепочной проволоки из алюминиевых сплавов. Из всех возможных способов нужно развивать более экономичные и энергоэффективные. Широко использу-

ется процесс волочения, в основном, благодаря высокой скорости обработки заготовок (скорость волочения до 70 м/с).

На энергоемкость процесса волочения влияет множество факторов, среди которых: коэффициент трения материала волокна, вытяжка, скорость и т.д. К сожалению, производители проволоки не могут менять некоторые из параметров из-за снижения производительности, но есть ряд таких параметров, при изменении которых влечет за собой снижение энергоемкости без снижения производительности. Таким фактором является угол конуса волокна.

Определим оптимальный параметр рабочего инструмента – угол конуса. Для анализа рассмотрим заклепочную проволоку, получаемую в соответствии с ГОСТ 14838-78 и специальными техническими условиями из алюминиевого сплава Д16. Посчитаем необходимые затраты энергоемкости на смещение единицы массы на единице длины заклепочной проволоки с начального диаметра 10 мм до конечного 7 мм при производстве на волочильном стане.

В настоящее время, процесс изготовления заклепочной проволоки при помощи волочильного стана состоит в следующем. На горизонтальном гидравлическом прессе получают заготовку для дальнейшего волочения – горячепрессованный прут, который далее сматывается в бухту и отжигается. Отожженная бухта поступает на стан однократного волочения с вертикальным барабаном, где подвергается волочению. После однократного волочильного стана проволока вновь отжигается и осуществляется процесс наращивания бухты путем сварки в стык. Готовая бухта, необходимой длины, обрабатывается на станах для многократного волочения проволоки до конечного размера.

Используя известную технологию после получения прутка на прессе, его отжига и дальнейшего волочения на стане однократного волочения до диаметра 10, заготовка отжигается вновь и поступает на стан многократного волочения, где с размера 10 обрабатывается до размера 7. Определим общую энергоемкость необходимую на обработку дюралюминиевой проволоки с начальным диаметром 10 мм до конечного 7 мм в 4 перехода  $\varnothing 10 - \varnothing 9 - \varnothing 8 - \varnothing 7,4 - \varnothing 7$  без отжига на стане для многократного волочения.

В соответствии с ГОСТ Р 51750-2001 «Методикой определения энергоемкости при производстве продукции» энергоемкость может быть определена как

$$E = \frac{A}{m}, \quad (1)$$

где  $A$  – совершаемая работа;  $m$  – единица массы смещенного металла.

Общая энергоемкость при волочении за 4 перехода суммируется из энергоемкостей каждого отдельного перехода, определяется по формуле

$$E_{\text{гол}} = \sum_{i=1}^k E_i, \quad (2)$$

где  $k$  – число переходов;  $E_i$  – энергоемкость волочения круглого профиля в проволоку, с комбинированной формой продольного профиля рабочей зоны за один переход.

Работа, совершаемая за соответствующий переход, определяется согласно выражению

$$A_j = P_{волj} L_j, \quad (3)$$

где  $P_{волj}$  – усилие волочения  $j$ -ого перехода;  $L_j$  – длина обработанной заготовки за  $j$ -ый переход.

Усилие волочения определяется по формуле

$$P_{вол} = F_{\kappa} \cdot \frac{1}{\cos^2\left(\frac{\alpha + \rho}{2}\right)} \cdot S_{mc} \cdot \frac{1+a}{a} \left(1 - \left(\frac{F_{\kappa}}{F_n}\right)^a\right) + \sigma_q \cdot \left(\frac{F_{\kappa}}{F_n}\right)^a \quad (4)$$

где  $F_n, F_{\kappa}$  – площадь поперечного сечения заготовки соответственно при входе и выходе из волоки;  $S_{mc}$  – среднее значение сопротивления пластической деформации в деформационной зоне;  $\sigma_q$  – напряжение противонапряжения;  $a = \cos^2 \rho (1 + f_n \operatorname{ctg} \alpha) - 1$ , где  $f_n$  – коэффициент трения;  $\rho$  – угол трения.

Для наглядности построим в одной системе координат четыре зависимости. Диаграмма изображена на рис. 1.

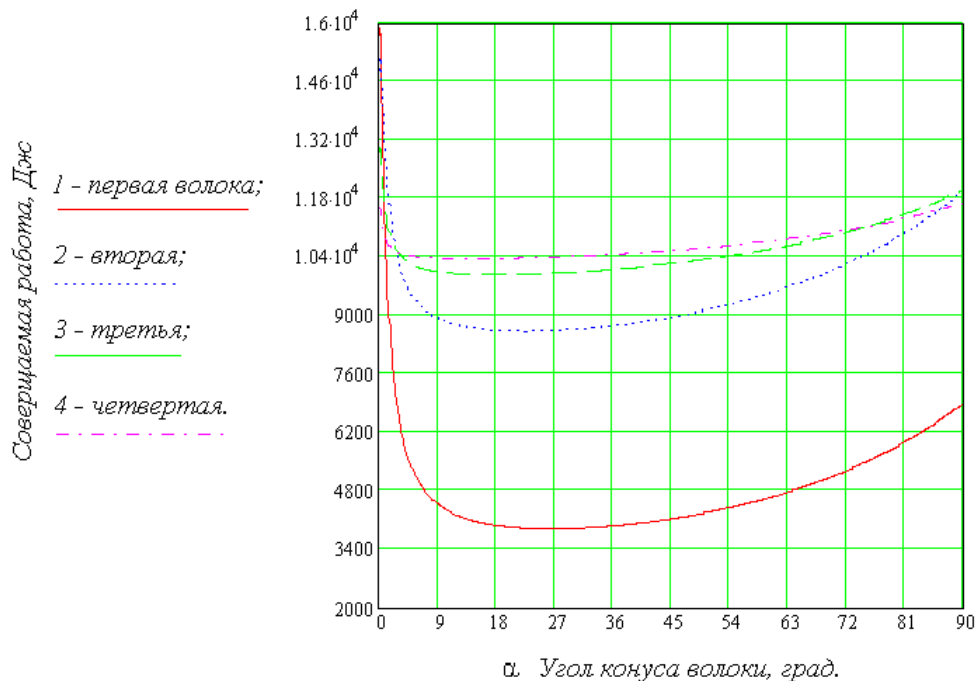


Рис. 1. Диаграмма зависимостей совершаемой работы от угла конуса волоки при четырех переходах

Зная зависимость совершаемой работы от угла конуса волоки, построим графики зависимости для каждого перехода и по графикам определим оптимум угла конуса волоки, при котором усилие будет минимальна. Искомые параметры представлены на рис. 2-5.

## Оптимальные параметры рабочего инструмента



Рис. 2. Переход № 1:  $\alpha_{opt} = 26,461^{\circ}$ ;  
 $m = 0,145$  кг;  $P_{min} = 3,143$  кН;  
 $A_{min} = 3,88$  кДж;  $E_{min} = 29480$  Дж/кг

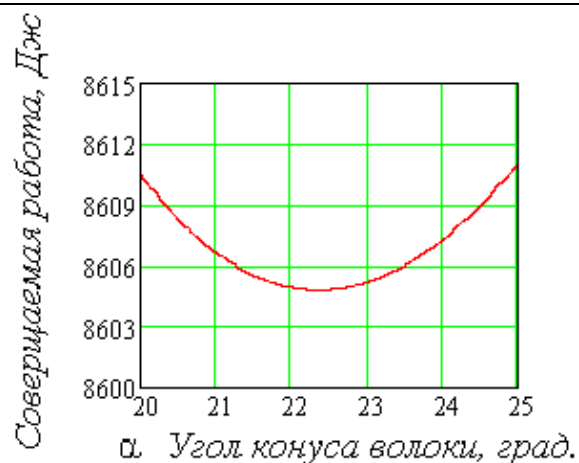


Рис. 3. Переход № 2:  $\alpha_{opt} = 22,344^{\circ}$ ;  
 $m = 0,164$  кг;  $P_{min} = 6,799$  кН;  $A_{min} = 8,605$  кДж;  
 $E_{min} = 53710$  Дж/кг

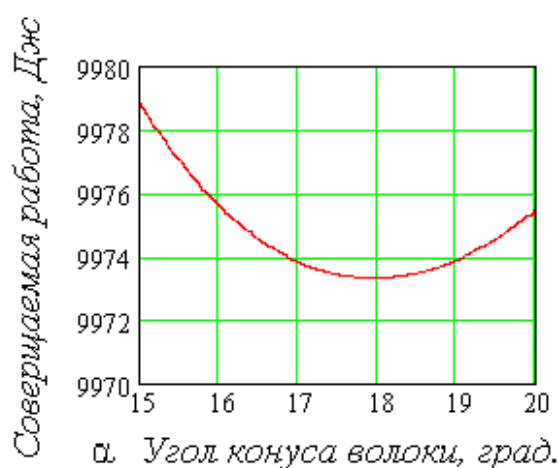


Рис. 4. Переход № 3:  $\alpha_{opt} = 17,951^{\circ}$ ;  
 $m = 0,104$  кг;  $P_{min} = 8,533$  кН;  
 $A_{min} = 9,973$  кДж;  $E_{min} = 96210$  Дж/кг



Рис. 5. Переход № 4:  $\alpha_{opt} = 13,827^{\circ}$ ;  
 $m = 0,072$  кг;  $P_{min} = 9,259$  кН;  
 $A_{min} = 10,35$  кДж;  $E_{min} = 71570$  Дж/кг

Найдем минимальное значение энергоемкости при известных оптимальных значениях угла конуса волокна. Общая энергоемкость на единицу длины составляет  $E_{общ} = 251$  кДж/кг.

Таким образом, изменив один из параметров рабочего инструмента, можно существенно повлиять на энергоемкость процесса волочения без потери производительности. Учитывая объем производства проволоки в год, можно сказать об экономии большого количества денежных средств. В 2009 году в России произведено около 2,7 млн. т проволоки (8 % мирового производства), следовательно, целесообразно внедрение и широкое использование оптимизированных рабочих инструментов на производстве.

## ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ КРАСНЫХ ШЛАМОВ ГЛИНОЗЕМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Пастухов М.В., Бутаков Д.Ю., Бутаков А.Ю., Первушин Н.Г.*

*УрФУ*

*E-mail: scorp1k@mail.ru*

В известных работах [1, 2, 3] представлены технологии комплексной переработки красных шламов, в которых использованы следующие процессы: агломерация красных шламов, плавка агломерата в шахтной электропечи или восстановительная плавка шлама с известняком и углём при температуре 1500...1600 °С в последовательно расположенных печных агрегатах, с получением передельного чугуна, характеризующегося высоким содержанием титана и фосфора (до 1 %) и геленитсодержащего шлака, из которого после спекания при температурах 1000...1150 °С с содой и известняком выщелачивали до 85 %  $Al_2O_3$ . При этом расход кокса на выплавку 1 тонны чугуна составил 0,89 т, расход электроэнергии – 3000 кВт·ч.

Мы считаем, что данные технологии экономически нецелесообразны из-за потерь оксида натрия в процессе образования в шлаке геленита  $Ca_2Al(AlSi)O_7$ , двенадцатикальциевого семиалюмината  $12CaO \cdot 7Al_2O_3$  и ортосиликата кальция  $2CaO \cdot SiO_2$ , низкой производительности процесса плавки, использования нескольких дорогостоящих пиromеталлургических процессов и больших тепло- и энергозатрат.

В работе [3] восстановитель соединяют с красным шламом, смесь расплавляют под действием восстановительных условий, расплав разделяют на фазу стали (попутный металл) и фазу шлака, в шлак вне печи добавляют кальцинированный продукт, обеспечивая такую концентрацию, чтобы совместно с  $CaO$  содержание шлаковой фазы имело следующие пределы молярных соотношений:  $\pm 10\%$   $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  и  $Al_2O_3$ , шлак с содержанием  $CaO : SiO_2 = 2$ ;  $CaO : TiO_2 = 1$ ;  $CaO : Fe_2O_3 = 2$  и  $CaO : Al_2O_3 = 0,1 \dots 0,5$ ; продукт смешивания плавят при температурах от 1000 °С до 1600 °С в нейтральной или окислительной среде и в последующем посредством проводимого выщелачивания вышеуказанного расплава получают образующийся алюминат натрия.

С целью достижения эффекта энерго- и ресурсосбережения в глиноземном производстве предлагаем расширение видов использования низкокачественного глинозёмсодержащего сырья, комплексную переработку последнего с одновременным улучшением технико-экономических показателей производства попутного металла и качественного шлака, избежание потерь натрия в восстановительном процессе красного шлама и в период внепечного преобразования в окислительной среде оксида натрия, содержащегося в расплавленном шлаке, в алюминат натрия, и получения глинозёма из последнего по гидрохимическому варианту. Предлагаем восстановительной плавке подвергнуть смесь красного шлама с кремнезёмсодержащим продуктом, молярное отношение содержания  $CaO$  к  $SiO_2$  в которой не более 1,2...1,4, а полученный расплав вне печи, при охлаждении и добавлении к нему кальцинированного продукта и соды, довести до концентрации, из расчёта образования в получаемом шлаке ор-



тосиликата кальция  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , ортоферрита кальция  $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ , титаната кальция  $\text{CaO}\cdot\text{TiO}_2$  и алюмината натрия  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , и обработать водяным паром.

Разработанная технология переработки красного шлама позволяет в два и более раза увеличить производительность печи в процессе получения шлака, существенно снизить расход ресурсов, энерго- и теплотрат, извлечь качественный глинозём из шлака по методу Байера из любого низкокачественного алюминиевого сырья.

Результаты переработки красного шлама по разработанной технологии приведены в таблице.

Результаты переработки красных шламов по разработанной технологии

Поз.	Продукты	Выход		Содержание, %								
		кг	%	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{FeO}$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{MgO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	п.п.п.
1	Красный шлам	7,08	70,8	8,17	13,95	43,95	6,79	14,2	4,22	1,22	3,50	4,00
2	Боксит	1,77	17,7	18,23	45,89	25,32	7,28	0,43	2,15	0,7	–	–
4	Шихта* в плавку	10,00	100	13,10	28,92	25,17	6,56	9,63	2,60	0,80	1,19	3,92
5	Шлак (расплав)	6,85	68,50	22,09	52,76	-	0,86	17,5	4,20	1,44	1,17	-
7	**Потери при плавке	0,12	1,2	22,09	52,76	-	0,86	17,5	4,20	1,44	1,17	-
		0,10	1,0	$\text{Si} = 2,44 \text{ \%}; \text{Fe} = 95,46 \text{ \%}; \text{Ti} = 0,2 \text{ \%}; \text{C} = 1,90 \text{ \%}$ .								
8	***Смесь	13,7	100	11,02	26,32	-	0,43	22,03	2,09	0,71	15,99	21,41 $\text{CO}_2$
9	Спек	10,8	78,6	14,02	33,48	-	0,55	28,03	2,66	0,91	20,35	-
6	Чугун	2,93	29,30		Fe	Si	Ti	C				
					95,46	2,44	0,20	1,90				

Поз. 3. Антрацит: (Выход  $\gamma = 11,5 \text{ \%}$ );  $\beta_{\text{C}} = 82,50 \text{ \%}$ ;  $\beta_{\text{FeO}} = 2,45 \text{ \%}$ ;  $\beta_{\text{SiO}_2} = 3,15 \text{ \%}$ ;  $\beta_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 1,40 \text{ \%}$ ;  $\beta_{\text{п.п.п.}} = 10,50 \text{ \%}$ .

Поз. 4. \*Шихта (красный шлам + боксит + антрацит), с содержанием углерода  $\beta_{\text{C}} = 8,11 \text{ \%}$ .

Поз. 7. \*\*Потери при плавке: чугуна и магнитной фракции составляют 1 %, шлака – 1,2 %.

Поз. 8. \*\*\*Смесь расплавленного шлака с (3,27 кг)  $\text{CaCO}_3$  и (3,62 кг)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

В расплаве, полученном по разработанной технологии, содержание оксида натрия составляет 1,17 % (потери  $\text{Na}_2\text{O}$  в процессе выплавки шлака составляют ~ 2 %), что можно объяснить достаточно низким содержанием в шихте, направляемой в плавку, оксида кальция (мол. отн.  $\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 1,2$ ).

В процессе разгрузки из печи температура глинозёмистого расплава составляет 1550...1600 °С. Извлечённый расплав вне печи дозировали известняком в процессе обработки водяным паром.

При этом извлечение при содощелочном выщелачивании составляет 92...96 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и извлечение при водном выщелачивании 77...85 %  $\text{Na}_2\text{O}$ .

### *Библиографический список*

1. Полупромышленные испытания схемы комплексного использования красных шламов: Отчёт института металлургии УФАН СССР. Свердловск, 1961.
2. Пирометаллургическая переработка комплексных руд / Л.И. Леонтьев, Н.А. Ватолин, С.В. Шаврин, Н.С. Шумаков. М.: Металлургия, 1997. 432 с.
3. Пат. US 3876749 А, опубл. 08.04.1975.

## **РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РЕКТИФИКАЦИИ НАФТАЛИНОВОЙ ФРАКЦИИ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ**

*Пачин И.М., Павлович О.Н., Белоусова О.А.*

*УрФУ*

*opavlovich@k66.ru*

Одним из основных продуктов коксохимической промышленности является нафталин. До последнего времени большая часть нафталина применялась для приготовления фталевого ангидрида – сырья для производства пластификаторов, лаковых смол и стеклопластиков [1]. В настоящее время значительные количества нафталина используются для изготовления суперпластификаторов – продуктов конденсации сульфированного нафталина с формальдегидом. Для переработки нафталиновой фракции в технический нафталин применяют в основном процессы кристаллизации-прессования, дистилляции. В мировой практике существует еще один метод получения технического нафталина – ректификация.

Технология переработки многокомпонентных фракций каменноугольной смолы методом ректификации по сравнению с другими методами их разделения имеет следующие преимущества: компактность технологической схемы, непрерывность процесса, возможность полной автоматизации, повышение производительности и улучшение условий труда. В связи с этим ректификационный метод в настоящее время оценивают как наиболее перспективный, особенно при централизованной переработке фракций.

В настоящее время в смолоперегонном цехе КХП ОАО «НТМК» реализована технология получения дистиллированного нафталина. Данная технология получения нафталина дистилляцией нафталиновой фракции не позволяет максимально извлекать его ресурсы из сырья, приводит к образованию большого количества вредных отходов производства (кислой смолки, отработанной серной кислоты).

В данной работе определены оптимальные технологические параметры процесса ректификации нафталиновой фракции для существующего оборудования смолоперегонного цеха КХП ОАО «НТМК» с целью дальнейшего получения ректифицированного нафталина на оборудовании цеха и перехода на новую технологию переработки нафталинсодержащих фракций. Для этого проведен расчет ректификации нафталиновой фракции при варьировании основных технологических параметров процесса.

Расчеты выполнены на основе данных о фазовом равновесии жидкость – пар в системах, образованных компонентами нафталиновой фракции с помощью разработанной программы «colonna», предусматривающей расчет состава

вов паровой и жидкой фаз на всех тарелках колонны (метод расчета «от тарелки к тарелке» [2, 3]). Расчеты проведены с помощью языка программирования Turbo Pascal 7.0 [4].

При выполнении расчета по программе «colonna» неидеальность жидкой фазы учитывается введением коэффициентов активности, рассчитываемых по уравнению Вильсона. Зависимость давления насыщенных паров компонентов смеси от температуры описывается уравнением Антуана. Тепловое взаимодействие потоков не учитывается.

Расчет по программе «colonna» проведен для установленной в смолоперегонном цехе ректификационной колонны с реальным числом тарелок, равным 40, тип тарелок колпачковые капсульные. Согласно техническим данным колонны, к.п.д. тарелок составляет 0,65. Поскольку в процессе эксплуатации оборудования происходит снижение эффективности его работы за счет осмоления и разложения компонентов разделяемой смеси, расчет проведен для процесса ректификации нафталиновой фракции при значении к.п.д. тарелок равным 0,5.

Состав питания первой колонны К-1 соответствует исходной обесфеноленной и обеспиридиненной нафталиновой фракции. Согласно литературным данным [5] система из 15 компонентов моделирует разделяемую обесфеноленную и обеспиридиненную нафталиновую фракцию. Питанием колонны К-2 служит кубовый продукт колонны К-1. При подборе оптимальных параметров I ступени процесса ректификации нафталиновой фракции изучено влияние на выход и качество кубового продукта следующих параметров: доли отбора дистиллята, флегмового числа, соотношения числа тарелок в укрепляющей и исчерпывающей секции колонны,  $N_1/N_2$ .

При подборе оптимальных условий проведения II ступени процесса ректификации нафталиновой фракции изучено влияние на выход и качество получаемых дистиллята и кубового продукта следующих параметров: доли отбора дистиллята; флегмового числа; числа тарелок в укрепляющей секции колонны К-2.

Выбраны оптимальные технологические параметры двухступенчатого процесса ректификации нафталиновой фракции, позволяющие получить на оборудовании смолоперегонного цеха КХП ОАО «НТМК» 96 %-ный ректифицированный нафталин.

#### *Библиографический список*

1. Гоголева Т.Я. Химия и технология переработки каменноугольной смолы. М.: Металлургия, 1992. 256 с.
2. Холланд Ч.Д. Многокомпонентная ректификация. М.: Химия, 1969. 347 с.
3. Багатуров С.А. Основы теории и расчета перегонки и ректификации. М.: Химия, 1974. 439 с.
4. Немнюгин С.А. Turbo Pascal. Программирование на языке высокого уровня. СПб.: Питер, 2003. 544 с.
5. Белоусова О.А., Павлович О.Н. Полиазеотропно-полиэвтектические свойства каменноугольной смолы: учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2009. 128 с.

# **ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС, СВЯЗАННЫЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

*Пинигин В.В., Батухтин А.Г.  
Читинский государственный университет  
E-mail: vaso-88@mail.ru*

В современном мире тепловые электрические станции наряду с предприятиями горной, металлургической, химической промышленности и городским автотранспортом являются весьма опасными с точки зрения экологической нагрузки на окружающую среду. Отличительная особенность ТЭС по сравнению с названными объектами заключается в непрерывном характере их технологического процесса, большом уровне загрязнения окружающей среды со стороны атмосферы и гидросферы.

В наибольшей мере вредному воздействию со стороны тепловых электрических станций подвержена атмосфера. Это связано с тем, что в ходе технологического процесса расходуются большие объемы топлива. В результате происходит процесс непрерывного загрязнения воздушной среды выбросами антропогенного характера, т. е. наблюдается изменение ее первоначальных качеств из-за выбросов твердых и газообразных продуктов горения органического топлива. Что в свою очередь нарушает равновесие экологических систем и ухудшает санитарно-гигиеническое состояние атмосферного воздуха, нанося тем самым ущерб здоровью населения.

Несмотря на то, что четвертую часть всех выбросов в атмосферу составляют именно ТЭС, технологии по улавливанию газообразных вредных составляющих не нашли широкого применения, по крайней мере в нашей стране, из-за недостаточно высоких концентраций оксидов серы, азота и других токсичных составляющих дымовых газов, а также из-за большой стоимости газоочистных установок. Следует отметить, что степень улавливания твердых дымовых частиц в дымовых газах на функционирующих ТЭС достигает 99,7 %. Поэтому, в условиях постоянно растущего энергопотребления, от современной науки требуется создание эффективных и в то же время малозатратных технологий и технических средств, которые позволят снизить уровень негативного воздействия ТЭС на окружающую среду.

Залогом развития энергетики на современном этапе и на перспективу является охрана окружающей среды. При этом вопросы уменьшения вредного воздействия энергетических объектов на экологическую ситуацию, рассматриваемые при создании нового оборудования либо при оптимизации режимов работы или реконструкции существующего оборудования, следует сегодня считать вопросами повышения надёжности функционирования энергетических установок.

В настоящее время существует значительное количество методов и технологий, позволяющих произвести очистку дымовых газов ТЭС от вредных составляющих. Эффективность этих мероприятий достаточно высока, однако существенным их недостатком является высокая стоимость оборудования и экс-

плуатации, а также сложность технологических процессов и необходимость осуществления конструктивных изменений элементов энергетического оборудования и котельных агрегатов в частности. В этом плане преимущество получает сорбционный метод, где в качестве активного вещества возможно использование природных цеолитов.

Природные цеолиты как таковые уже довольно давно нашли применение в различных областях промышленности, а также в ряде производств (для технологических нужд). Несмотря на это, в отрасли тепловой энергетики они не имели должного применения до настоящего времени (есть частный опыт их использования в водном хозяйстве энергетических объектов страны). Необходимо отметить, что природные цеолиты обладают рядом особенностей, которые дают возможность их использования в крупном масштабе для газоочистных нужд на ТЭС. Кроме того, цеолиты являются относительно дешевым минеральным сырьем, что определяет возможность их использования для очистки дымовых газов от котельных установок, работающих на различных видах твердого топлива при любом способе сжигания (слоевом или факельном).

Выбор варианта газоочистки для той или иной ТЭС зависит от большого количества параметров: концентрации вредных составляющих в дымовых газах, мощности ТЭС, характера нагрузки и других факторов и осуществляется по минимуму расчетных затрат. В таблице приводятся результаты предварительного технико-экономического сравнения аммиачно-циклического, магnezитового и цеолитового способов очистки от сернистого ангидрида. С целью обеспечения сопоставимости, данные таблицы представлены в пересчете на единицу мощности станции. Степень улавливания  $\text{SO}_2$  во всех способах принята равной 50%. Температура поступающих на сероочистку газов (для аммиачно-циклического и магnezитового способов) равна 140 °С, после сероочистки 28 °С.

Результаты предварительного технико-экономического сравнения способов очистки дымовых газов от сернистого ангидрида.

Показатели (по состоянию на 2009 год)	Способы очистки		
	Аммиачно-циклический	Магnezитовый	Цеолитовый
Капитальные затраты, млн руб.	3300	3300	1,95
Капитальные затраты на получение $\text{H}_2\text{SO}_4$ на хим. заводах, млн руб.	1680	1920	0
Удельные капитальные затраты на очистку, руб./кВт	1350	1150	4,14
Индекс инфляции (удорожание 1 кВт установленной мощности), %	30	25,7	10 – 10,7
Стоимость товарной продукции ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , сульфат аммония, сера), млн руб./год	561	459	0
Общие годовые эксплуатационные расходы:			
за вычетом реализации, млн руб./год	460,4	430,2	797,45
с учетом реализации, млн руб./год	1021,4	889,2	797,45
Приведенные затраты, млн руб./год	856,4	826,2	797,743

Из таблицы видно, что даже с учетом реализации серной кислоты и других побочных химических продуктов увеличение капитальных затрат и стоимости энергии за счет сероочистки оказывается весьма высоким. Расчетные затраты у магнезитного способа оказываются несколько меньшими, что свидетельствует о большой его экономической эффективности для данных условий по сравнению с аммиачно-циклическим способом. Цеолитовый способ очистки в сравнении с приведенными способами также имеет свои достоинства и недостатки. Достоинством данного способа является простота его технологии. К тому же он не требует огромных капиталовложений (самые низкие приведенные капитальные затраты), не приводит к значительному удорожанию 1 кВт установленной мощности, имеет малое значение эксплуатационных затрат на очистку, сопровождается меньшими тепловыми потерями, чем мокрые способы очистки (так как не требует охлаждения газа до комнатной температуры).

Однако, несмотря на достаточную изученность природных цеолитов, в настоящее время открытым остается вопрос, касающийся возможности использования их на действующих энергетических предприятиях. Вопрос этот состоит в острой необходимости изучения и анализа термической стабильности, сорбционной емкости и технологических особенностей применения природных цеолитов, поскольку их внедрение в современную практику позволит улучшить экологическую обстановку.

В то же время при разработке технологии использования природного цеолитсодержащего сырья в качестве сорбента вредных составляющих дымовых газов ТЭС актуальным становится вопрос надежности и безотказности работы котельных установок.

Надежность работы котлоагрегата во многом зависит от конструкции и работы топочных устройств, что также является немаловажным при разработке технологических мероприятий по повышению экологичности сжигания твердых топлив.

Поскольку в современных конструкциях котельных установок применяются различные схемы расположения горелок, компоновки поверхностей нагрева и схемы экранирования топочных камер, то в каждом из таких вариантов установок в большей мере негативному влиянию со стороны добавки природного цеолита оказываются подверженными соответствующие элементы конструкции. Основным проявлением негативного воздействия цеолитов на элементы котельных агрегатов является снижение надежности и безотказности работы поверхностей нагрева, что связано с повышенной интенсивностью их эрозионного износа частицами добавляемого к топливу цеолита. В силу неполной доработки, технология применения природных цеолитов для очистки дымовых газов ТЭС - проблема, связанная с оценкой влияния их на надежность работы котельного оборудования, которая требует на современном этапе глубокого изучения и реализации необходимых опытно-экспериментальных мероприятий.

Таким образом, применение природного цеолитсодержащего сырья для обеспечения экологических нужд ТЭС является очень востребованным, поскольку оно не обременяется значительными капиталовложениями для внедрения в энергетическую отрасль производства.

## РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПОЛУЧЕНИЯ МОНОХРОМАТА НАТРИЯ

*Плотников Е. В., Ахмадышина В.Р., Толкачева Л. Е.*

*УрФУ*

*E-mail:ksf@mail.ustu.ru*

Производство монокромата натрия в ЗАО «Русский хром–1915» (г. Первоуральск Свердловской области) осуществляется в барабанных вращающихся печах в процессе окислительной прокалики шихты с последующим выщелачиванием спека. Полученные монокроматные щелока являются сырьем для изготовления многотоннажного продукта – бихромата натрия. Одной из проблем производства является наличие в монокроматных щелоках большого количества примесей – соединений алюминия. Монокроматные щелока должны быть от них очищены, так как в дальнейшем при производстве бихромата натрия имеет место сильное зарастание труб в кипятильниках вакуум-выпарной установки и при последующей травке выпадает мелкодисперсный гидроксид алюминия, затрудняющий отделение и промывку сульфата натрия и загрязняющий готовый продукт. Крупнокристаллический бихромат натрия при этом получить нельзя. Это обуславливает необходимость проведения стадии осаждения соединений алюминия, которую в настоящее время осуществляют путем обработки щелоков покупаемой серной кислотой с получением гидроксида алюминия.

Целью работы явилось изучение возможности совершенствования технологии получения монокромата натрия и экономии материальных и финансовых ресурсов предприятия.

Был проведен анализ процессов получения монокромата и бихромата натрия, сделан литературный обзор по проблеме, а также учтены требования рыночной экономики и политики государства о бережливости и экономии.

Установлено, что более рациональным является использование бихроматного метода очистки щелоков с применением бихромата натрия, а не покупной серной кислоты. В процессе обработки монокроматных щелоков раствором бихромата натрия алюминаты натрия разлагаются с образованием нерастворимого гидроксида алюминия. В качестве бихромата натрия можно использовать имеющийся на предприятии отход производства – маточный раствор бихромата натрия после отделения кристаллов соли на центрифуге в отделении бихромата натрия. В результате указанной обработки продуктами процесса являются лишь монокромат натрия и гидроксид алюминия. Для полного разложения алюмината натрия из раствора монокромата натрия и выделения его в виде осадка гидроксида алюминия с получением хорошо фильтрующихся укрупненных кристаллов необходимо соблюдать следующие условия [1]:

- проводить процесс в непрерывном режиме с интенсивным перемешиванием раствора при температуре от 80 до 90 °С;
- поддерживать значение рН процесса в интервале от 7,5 до 8,2;
- обеспечивать продолжительность пребывания раствора, обработанного бихроматом натрия, в каскаде реакторов не менее 40 минут.

В настоящее время гидроксид алюминия после отделения от очищенных монокроматных щелоков и промывки горячей водой направляют в шламовый прудок, однако данный отход является потенциальным сырьем для получения солей алюминия.

Таким образом, предлагаемое решение позволит исключить использование покупной серной кислоты при очистке монокроматных щелоков, повысить степень извлечения хрома за счет вовлечения отхода производства бихромата натрия и сэкономить материальные и финансовые ресурсы предприятия.

#### *Библиографический список*

1. Авербух Т.Д., Павлов П.Г. Технология соединений хрома. Л.: Химия, 1967. 376 с.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ФТОРАНГИДРИТА РАЗЛИЧНОГО ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА**

*Пономаренко А.А., Орешкова К.Е., Бердышева В.С.,  
Урицкий С.В., Баклюк М.В., Пушкарева М.В., Гашкова В.И.*

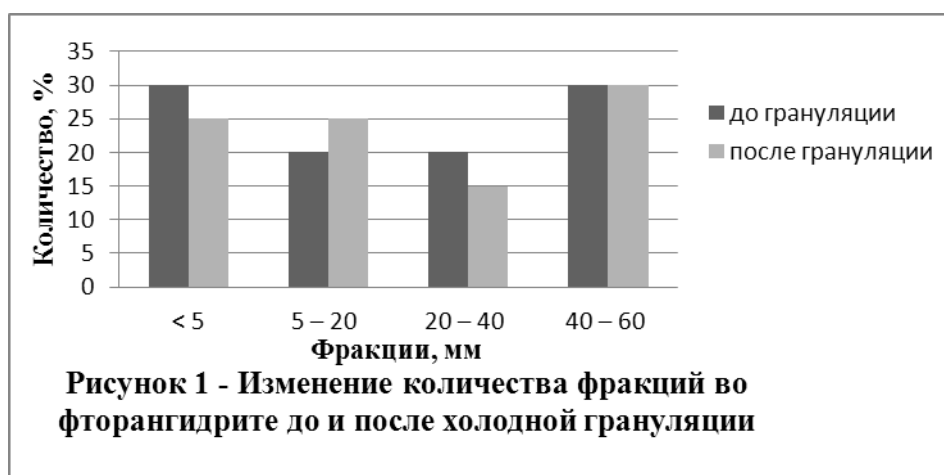
*УрФУ*

*plushka-88@inbox.ru*

В процессе разложения флюоритового концентрата в условиях ОАО «Полевского криолитового завода» образуется от 80,0 до 150,0 тысяч тонн фторангидрита (ФА). Нейтрализация и хранение данного отхода экономически и экологически наносят значительный ущерб г. Полевскому. Утилизация ФА с получением вяжущего и гранулированного материала для цементной промышленности предусматривает его обезвреживание путем нейтрализации примесей в виде серной кислоты и фтороводорода.

Цель данной работы – изучение фракционного состава фторангидрита для разработки эффективного способа его нейтрализации.

Исследование проводили на двух пробах ФА, отобранных в августе и в ноябре 2008 года. Фракционный состав изучали ситовым методом на пробе, отобранной в ноябре 2008 года. Данные по изучению фракционного состава представлены на рис. 1.





Нейтрализацию проводили опудриванием саморассыпающимся шлаком от электросталеплавильного производства в присутствии 10...15 % мас. воды на тарельчатом грануляторе диаметром 0,5 м. После завершения процесса определяли содержание серной кислоты в различных фракциях указанных проб ФА через один час, сутки и семь суток по методике, разработанной кафедрами технологии неорганических веществ и аналитической химии. Данные исследования представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

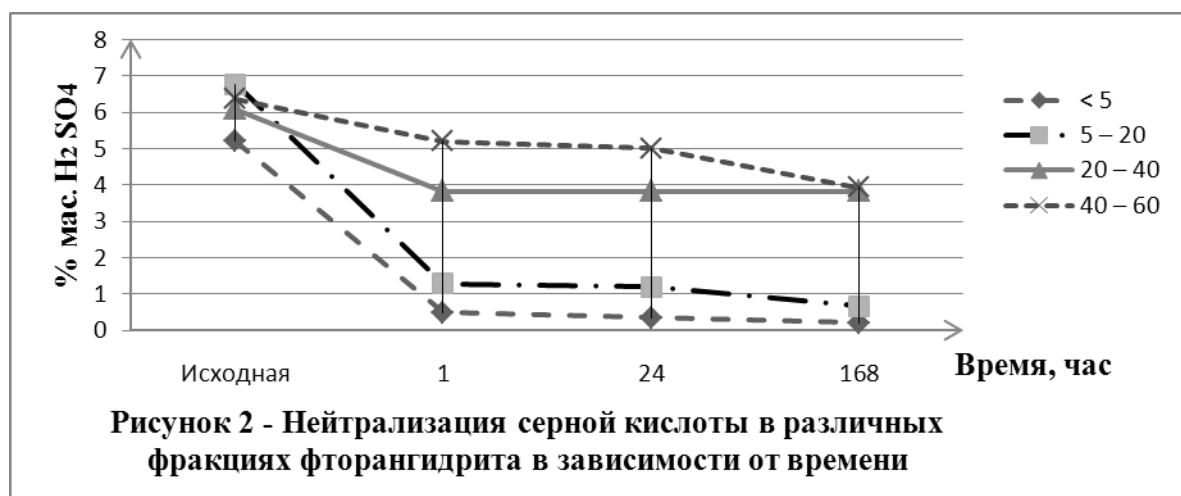
Изменение содержания серной кислоты в различных фракциях фторангидрита

Размер фракции, мм	Содержание H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> в гранулированном материале, % мас.			
	В исходной пробе	Через		
		один час	одни сутки	семь суток
Проба от августа 2008 года				
< 5 – 20	4,40	0,98	0,58	0,58
Проба от ноября 2008 года				
< 5	5,20	0,49	0,35	0,20
5 – 20	6,77	1,28	1,20	0,67
20 – 40	6,08	3,83	3,83	3,83
40 – 60	6,37	2,10	5,00	3,92

Анализ полученных данных показал, что:

1. Фракционный состав исследуемого фторангидрита неоднороден;
2. В разных фракциях присутствует различное количество серной кислоты, что наиболее наглядно прослеживается на образце от августа 2008 года, в котором содержание серной кислоты в крупной фракции примерно на 25...30 % больше, чем в мелкой фракции.

Скорость нейтрализации серной кислоты в указанных фракциях ФА различна. Чем меньше фракция, тем скорость нейтрализации серной кислоты выше (рис. 2 и табл. 2).



Образцы с большим размером частиц имеют меньшую скорость нейтрализации как в начальный период (от одного до 24 часов), так в более длительный промежуток времени (до 7 суток).

Таблица 2

Скорость нейтрализации серной кислоты в различных фракциях FA

Размер фракции, мм	Скорость нейтрализации, %/ч		
	В течение		
	первого часа	первых суток	семи суток
< 5	4,710	0,0060	0,0010
5 – 20	5,490	0,0035	0,0037
20 – 40	2,250	0,0000	0,0000
40 – 60	1,270	0,0043	0,0054

В измельченной фракции с размером частиц меньше 5 мм нейтрализация серной кислоты происходит за один час. При этом концентрация  $H_2SO_4$  составляет менее 1 % мас., что соответствует допустимому содержанию остаточной серной кислоты. Во фракции (FA) с размером частиц от 5 до 20 мм, основная часть нейтрализации происходит также в течение одного часа, но для достижения 1 % мас.  $H_2SO_4$  требуется около 100 часов, что невыгодно в промышленных условиях. В следующей фракции (FA) с размером частиц от 20 до 40 мм скорость нейтрализации небольшая. Содержание  $H_2SO_4$  в течение часа достигает значения 3,83 % мас. и остается неизменным даже через длительное время. Во фракции (FA) с размерами частиц от 40 до 60 мм происходит плавное изменение скорости нейтрализации на всем промежутке времени, но, несмотря на это, окончательное содержание серной кислоты остается высоким.

Таким образом, для того чтобы утилизировать и переработать FA, нейтрализацию надо вести с одновременным измельчением.

## РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ КОКСОВАНИЯ БРИКЕТОВ НА НЕСУЩЕЙ ШИХТЕ

*Серебренникова Е.С., Глянченко В.Д.*

*УрФУ*

*brusnichka830@mail.ru*

Кокс, выпускаемый коксохимической промышленностью, является важнейшим энергетическим ресурсом. Около 80 % кокса потребляет доменное производство, остальные 20 % используются в литейном производстве, ферросплавной, цветной металлургии, производстве строительных материалов, химической и других отраслях промышленности. В последнее время происходит пересмотр перспектив доменного производства в связи с финансовым кризисом и дефицитом коксующихся углей. Все более актуальной становится переработка огромных отходов металлолома, получение из них чугуна в вагранках.

В условиях ухудшения сырьевой базы требуется разработка методов получения высококачественного литейного кокса, позволяющих использовать не дефицитные слабо- и неспекающиеся угли и вести процесс направленно для получения кокса заданного качества, обеспечивающего высокие технико-экономические показатели литейного производства [1].

Одним из перспективных способов получения литейного кокса является метод УПИ-ВУХИН-МХТИ, который заключается в брикетировании шихты,

состоящей из высокометаморфизованных углей (антрацитов или тощих углей), небольших количеств спекающегося угля и связующего, и последующей термической обработке полученных брикетов [2].

Целью данной работы является определение условия улучшения качества коксобрикетов и увеличение выхода металлургического кокса класса +40 мм.

ВУХИН и Нижний Тагил разработали коксование брикетов на несущей шихте при загрузке печей. Угольная (несущая) шихта загружалась в коксовую камеру через крайние 1-й и 3-й загрузочные люки, и шихта при этом располагалась в камере двумя откосами под углом естественного откоса, образующих при соприкосновении треугольную полость. Исходные (сырые) брикеты загружались в упомянутую треугольную полость через средний (второй) люк. Количество загружаемых брикетов в разных опытах составляло 10...29 % объёма коксовой камеры.

Положительным моментом упомянутого прототипа являлось то, что брикеты, находящиеся в треугольной полости, прогревались быстрее вследствие глубокого проникновения излучения от стенки камеры в загрузку брикетов, что улучшало качество получаемых коксобрикетов [3]. Таким образом, удалось, не изменяя загрузку камеры, увеличить выход кокса класса +40 мм. Применение описываемого метода позволяет без создания специальных устройств для коксования брикетов получать их в существующих камерах коксования, а также сохранить до 15 % спекающихся дефицитных углей и одновременно увеличить выход металлургического кокса. В таблице [4] показан выход кокса из суммарной шихты при введении 15 % брикетов.

Гранулометрический состав кокса, мм	Выход из шихты (100 %)	Загрузка брикетов	
		На выход из шихты (85 % несущей шихты)	На выход от 15% брикетов
>80	8,5	7,2	7,2
80-60	34,9	29,6	29,6
<b>60-40</b>	<b>44,8</b>	<b>38,1</b>	<b>53,1</b>
40-25	9,5	8,1	8,1
25-0	2,3	1,9	1,9

В настоящей работе использован метод получения коксобрикетов в печах с объемом загрузки  $21 \text{ м}^3$ . Анализ специального приёма загрузки брикетов разной формы в камерах различных размеров позволил рекомендовать использование этого метода в печах с более высокой ёмкостью загрузки –  $41,5 \text{ м}^3$ .

Такой технологический приём позволяет осуществить ресурсосбережение в части наиболее дефицитных спекающихся углей до 10...15 % и одновременно повысить выход кокса класса 60...40 мм на 1...1,5 %.

#### *Библиографический список*

1. Горшков М.Н., Загорец А.М., Макаров Г.Н.. Получение и промышленные испытания литейных коксобрикетов // Кокс и химия. 1982. № 5. С. 24.

2. Глянченко В.Д., Кауфман А.А. Особенности режима обогрева при коксовании кусковых материалов на несущей спекающей шихте в камере слоевого коксования // Кокс и химия. 2005. № 10. С. 10-13.
3. Глянченко В.Д., Шашмури П.И., Нефедов П.Я. и др. Получение коксобрикетов в камерах слоевого коксования // Кокс и химия. 1995. № 12. С. 17-22.
4. Макаров Г.Н., Харлампович Г.Д.. Химическая технология твёрдых горючих ископаемых: Учебное пособие. М.: Химия, 1986. 199 с.

## **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПРОЦЕССАХ ПЕРЕРАБОТКИ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ**

*Солодовникова Е.С. Павлович О.Н.*

*УрФУ*

*opavlovich@k66.ru*

Важным аспектом в переработке каменноугольной смолы является выбор оптимальной технологической схемы, позволяющей получать большое количество продуктов: бензол, крезолы, пиридиновые и хинолиновые основания, нафталин, антрацен, поглотительное масло и другие. Все они находят широкое применение – значительная часть компонентов используется в синтезе лекарственных средств и красителей, поэтому важно обеспечить наибольший выход необходимых веществ. Наибольшее применение находит нафталин, который можно использовать для производства суперпластификаторов, фталевого ангидрида – сырья для производства пластификаторов, лаковых смол и стеклопластиков.

Выбор оптимальных условий ректификации смолы и схемы технологической взаимосвязи основных аппаратов в каждом конкретном случае обусловлен необходимостью решения вопросов улучшения теплотехнических показателей процесса, обеспечения увеличения выхода фракций и выработки пека требуемого качества.

В мировой инженерной практике существуют разнообразные схемы переработки каменноугольной смолы [1], их можно разделить на следующие группы:

1. Схемы с однократным испарением смолы (одноколонный агрегат; схема фирмы «Осака Газ»). При одноколонной схеме хорошо используется тепло, переданное в трубчатой печи, но ректификация оказывается плохо управляемой, а четкость разделения смолы недостаточной. Подобная система разделения эффективна в тех случаях, когда содержание низкокипящих фракций невелико и требования к качеству фракций не очень жесткие. При фракционировании каменноугольной смолы получают: 0,6 % легкой фракции, 2,5 % – фенольной, 10 % – нафталиновой, 9,5 % – поглотительной, 25,4 % – антраценовой фракции [2].

2. Схемы с двухступенчатым испарением смолы (двухколонный агрегат; атмосферно-вакуумная установка фирмы «Копперс»). Данные схемы позволяют: регенерировать тепло отводящих из колонн продуктов, что повышает КПД печей и уменьшает расход газа на подогрев смолы; сосредоточить максимальное количество нафталина в нафталиновой фракции за счет подвода дополни-

тельного тепла, путем циркуляции части поглотительной фракции через отдельную трубчатку в печи [3].

3. Схемы с многоступенчатым испарением смолы (схема фирмы «Рютгерс», Германия). В данной схеме используют более тонкое фракционирование, которое позволяет получить 7 фракций с очень узкими температурными пределами кипения и высоким содержанием основного компонента. Фракции пригодны для получения чистых химических продуктов, которые служат основой производства продукции повседневного спроса для бытовых нужд, в том числе шампуней, красителей для текстиля, оптических отбеливателей, маркеров для текста [4].

4. Схемы с рециркуляцией пека (схемы фирмы «Вилтон» и «Проабд»), главная цель которых – улучшение качества пека и утилизация тепла. По данной схеме получают фракции, такие как легкая, нафталиновая, фенольная, антраценовая, тяжелая, поглотительная [3].

Следует подчеркнуть, что ни одно из реализованных в мировой практике ректификации смолы технических решений не позволяет одновременно улучшить качество и повысить выработку и фракций и пека, снизить энергетические затраты, упростить и удешевить переработку смолы, хотя каждому из них свойственны свои преимущества.

Оптимальной и наиболее перспективной схемой является схема переработки каменноугольной смолы с двухступенчатой дистилляцией смолы и отбором широкого дистиллята [5]. Данную установку можно рассматривать как установку, состоящую из пяти отдельных составляющих: однократного испарения смолы; экстракции (мойки широкого дистиллята) фенолов и оснований; атмосферной ректификации смолы; вакуумной ректификации остатка (мягкого пека); производства электродного пека. Достоинствами двухступенчатой дистилляции смолы являются:

- возможность концентрирования в сырье для ректификации всех ресурсов данного компонента, имеющихся в смоле;
- организация промывания от фенолов и оснований одного продукта, а не нескольких фракций;
- проведение четкой ректификации относительно простых систем, свободных от многочисленных азеотропных смесей.

Частично данная схема представлена на ОАО «Алтай-Кокс». При использовании схемы переработки каменноугольной смолы с двухступенчатой дистилляцией смолы и отбором широкого дистиллята можно получать продукты лучшего качества и с большими выходами.

#### *Библиографический список*

1. Чистяков А.Н. Химия и технология переработки каменноугольных смол. Челябинск: Металлургия, 1990. 160 с.
2. Макаров Г.Н., Харлампович Г.Д. Химическая технология твердых горючих ископаемых. М.: Химия, 1986. 496 с.
3. Лазорин С.Н., Скрипник Е.А. Каменноугольная смола. Получение и переработка. М.: Металлургия, 1985. 118 с.

4. Павлович О.Н. Состав, свойства и перспективы переработки каменноугольной смолы: учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. 44 с.
5. Разработка технологической схемы двухступенчатой дистилляции смолы: Отчет о НИР (закл.) / ВУХИН; Рук. В.В. Мочалов; М.Г. Гайсаров, Б.С. Гуревич, Б.Е. Коган. Свердловск, 1976. 78 с.

## **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ**

*Танасова О.В., Павлович О.Н.*

*УрФУ*

*opavlovich@k66.ru*

В работе проведен анализ работы установки атмосферной переработки нефти V-6000 предприятия ООО «Красноленинский нефтеперерабатывающий завод».

ООО «Красноленинский НПЗ» – успешно развивающееся небольшое предприятие, входящее в состав корпорации «ТНК-ВР». Установка V-6000 производства фирмы «Ventech engineers» предназначена для атмосферной перегонки нефти. Технология процесса предусматривает первичную переработку нефти (с ограниченным содержанием солей и воды), заключающуюся в разделении ее на фракции с получением бензиновой, керосиновой, дизельной фракций, а также мазута (остатка атмосферной перегонки нефти). Установка не имеет узлов обезвоживания и обессоливания сырья и стабилизации бензина.

Получаемые на установке нефтепродукты отличаются высоким качеством. Так, керосин и дизельное топливо являются товарным продуктом. Реактивное топливо ТС-1 поставляется ОАО «Аэропорт Кольцово» г. Екатеринбург. Реализация дизельного топлива осуществляется как внутри Ханты-Мансийского автономного округа, так и за его пределами.

Бензиновая фракция получается с низким октановым числом. Чтобы использовать ее в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания необходимо подвергнуть бензин вторичной переработке, тем самым, повысив октановое число. На данный момент бензин с установки V-6000 отправляется на другие предприятия корпорации «ТНК-ВР» для дальнейшей переработки.

Единственный продукт, который никак не используется – мазут. Получаемый мазут направляется в емкость хранения. При переполнении этой емкости часть атмосферного «остатка» откачивается и затем смешивается с нефтью, идущей на экспорт. Тем самым предприятие, во-первых, ухудшает качество экспортной нефти, во-вторых, отказывается от глубокой переработки нефти, в-третьих – не использует тепло сгорания мазута, как делают другие заводы с целью его утилизации.

Анализ литературы по технологиям углубленной переработки нефти показал, что оптимальным вариантом является переработка мазута в вакуумной колонне с получением таких важных нефтепродуктов, как тяжелый вакуумный газойль, легкий вакуумный газойль, гудрон.

Для утилизации мазута и разработки ресурсосберегающей технологии переработки нефти в работе предложено внедрить блок вакуумной перегонки ма-

зута в существующую технологическую схему, который позволяет утилизировать остаток атмосферной переработки нефти и получить ряд важных нефтепродуктов. Для решения поставленной задачи была предложена схема переработки мазута по топливному варианту.

Предлагаемая схема переработки позволит не только получать ценнейшие нефтепродукты, но и предотвратить выбросы вредных веществ в атмосферу путем отказа от сжигания мазута в печах.

В результате реконструкции завод будет производить новые виды продукции: легкий вакуумный газойль, тяжелый вакуумный газойль, гудрон, несконденсированные газы. Газы используются как топливо для трубчатой печи. Остальные продукты на первых этапах будут отправляться на другие заводы холдинга «ТНК-ВР» для дальнейшей переработки. Следующим этапом развития завода может стать внедрение блока каталитического крекинга, коксования, висбрекинга.

Внедрение на заводе блока вакуумной переработки мазута позволит предприятию добиться следующего:

- улучшить качество нефти, идущей на экспорт, за счет прекращения добавления в нее остатка, получаемого на АТ;
- для углубленной переработки нефтяного сырья осуществить рациональную утилизацию остатка атмосферной переработки нефти – мазута;
- получить ценнейшие продукты, такие как легкий и тяжелый вакуумный газойли, гудрон, которые являются сырьем для процессов каталитического крекинга, коксования, висбрекинга, получения нефтяных битумов и др.;
- использовать газы, отходящие с верха атмосферной и вакуумной колонн, в качестве топлива для трубчатой печи;
- уменьшить загрязнение атмосферного воздуха за счет прекращения сжигания газа на факельной системе.

Результаты работы могут быть использованы при реконструкции технологической схемы действующего предприятия.

## **ИНГИБИТОРЫ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ И КОРРОЗИИ ДЛЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД**

*Тарасова С. А., Дриккер Б. Н., Обожин А.Н., Обадин Д. Н.  
Уральский государственный лесотехнический университет  
chempro@el.ru*

Сокращение водопотребления при переводе предприятий на оборотные и замкнутые системы водоснабжения приводит к заметному ухудшению качества воды. В результате многократного использования ограниченных объемов воды в ней происходит концентрирование солей, интенсифицируются процессы образования солеотложений и коррозии. В настоящее время для борьбы с такими нежелательными явлениями чаще всего используются ингибиторы на основе органофосфонатов.

Обычно выбор того или иного ингибитора проводится на подпиточной воде оборотного цикла, без учета возможного процесса упаривания воды во время её эксплуатации.

Целью данных исследований являлось определение влияния степени концентрирования воды на эффективность ингибирования солеотложений и коррозии органофосфонатами.

Объектом исследований была вода, используемая для подпитки оборотных циклов на ОАО «Челябинский цинковый завод» (техническая вода) и на ПО «Балхашцветмет» (вода озера Балхаш). Физико-химические показатели подпиточных вод представлены в табл.1.

Таблица 1

Показатель	Качество подпиточной воды	
	Челябинский цинковый завод	Балхашцветмет
рН	8,00	8,53
Жесткость кальциевая, мг-экв/дм <sup>3</sup>	2,60	2,40
Щелочность, мг-экв/дм <sup>3</sup>	3,60	4,70
Магний, мг/дм <sup>3</sup>	22,70	100,93
Железо, мг/дм <sup>3</sup>	0,19	0,102
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	220,00	1792,00
Хлориды, мг/дм <sup>3</sup>	23,45	295,00
Сульфаты, мг/дм <sup>3</sup>	41,68	604,00

Оценку стабильности воды и ее склонности к образованию минеральных отложений и коррозии проводили как в исходной воде, так и после 1,7 и 2,5 (для воды озера Балхаш), а также 2, 3, 4 (для воды Челябинского цинкового завода) кратного упаривания

Концентрирование воды проводили под вакуумом и температуре 40 °С с целью избегания процесса кипения и возникающей при этом границы раздела фаз.

Стабильность воды в отношении образования минеральных отложений оценивали по изменению концентрации накипеобразующих, в данном случае, ионов –  $\text{Ca}^{2+}$  (жесткость кальциевая) и  $\text{HCO}_3^-$  (щелочность), соответственно комплексонометрическим и кислотно-основным методами.

Определение электрохимической скорости коррозии проводили методом измерения поляризационного сопротивления воды прибором «Эксперт-004». Испытания проводили при температуре 20 °С, скорости перемешивания 1,2 м/с, в непроточной ячейке двухэлектродными измерительными зондами, оснащенными электродами, изготовленными из стали марки Ст.3. Погрешность измерений составляла не более 10 %.

В качестве ингибитора солеотложений и коррозии использовали реагент КИСК-1 (ТУ 2415-007-76499798-2009), относящийся к классу органических фосфонатов (ОФ), содержащий его цинковый комплексонат при мольном соотношении ОФ:ОФ-Zn = 2,5:1. Реагенты марок «КИСК» разрешены к использованию в системах охлаждения и отопления с закрытым и открытым водозабо-



ром. (Санитарно-эпидемиологическое заключение № 66.01.40.000.Т.000561.04.09 от 20.04.2009).

Результаты измерений стабильности воды в отношении ингибирования коррозии на подпиточной воде до упаривания представлены в табл. 2.

Таблица 2

Подпиточная воды без упаривания

Подпиточная вода	Ca <sup>2+</sup> , мг-экв/л	Щ, мг-экв/л	Концентрация КИСК-1, мг/л							
			0	2	5	10	15	20	30	40
			Скорость коррозии, мкм/год							
Челябинский цинковый завод	2,6	3,6	174	166	28	24	-	6	-	-
Балхашцветмет	2,4	4,7	340	-	297	253	140	101	48	43

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что подпиточная вода обоих предприятий является высоко коррозионно-агрессивной, но в присутствии реагента КИСК-1 скорость коррозии существенно снижается. Для дальнейших испытаний с концентрированием, исходя из полученных результатов, были выбраны оптимальные концентрации ингибитора (для воды Челябинского цинкового завода – 5 мг/л, для воды Балхашцветмет – 30 мг/л). Результаты измерений стабильности воды в отношении солеотложений и коррозии представлены в табл. 3.

Таблица 3

Стабильность подпиточной воды после упаривания

Подпиточная вода	Коэффициент упаривания	Ca <sup>2+</sup> , мг-экв/л	Изм. конц., А %	Щ, мг-экв/л	Изм. конц., А %	Скорость коррозии, мкм/год
Балхашцветмет	1,7 (без реагента)	3,9	4,4	7,8	2,4	234
	2,5 (без реагента)	5,2	13,3	10,9	7,3	269
	1,7 (с реагентом)	4,04	0,98	8,00	0,12	7
	2,5 (с реагентом)	5,8	3,3	12,1	2,97	6
Челябинский цинковый завод	2 (без реагента)	5,0	14,0	6,8	15,5	210
	3 (без реагента)	5,2	33,3	8,3	23,1	222
	4 (без реагента)	5,9	43,2	10,1	29,8	172
	2 (с реагентом)	5,1	1,9	6,8	5,3	39
	3 (с реагентом)	7,5	3,2	10,2	5,5	39
	4 (с реагентом)	9,3	10,6	13,0	9,7	10

Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что КИСК-1 при всех заданных коэффициентах упаривания обеспечивает стабильность воды в отношении образования солеотложений и существенно снижает скорость коррозии. Безусловно, это связано со свойствами самого реагента (его концентрация растет пропорционально кратности упаривания), который практически не разлагается и не теряется вследствие адсорбции на инертной твердой фазе. Поскольку действие ингибиторов коррозии на базе органических фосфонатов обусловлено созданием защитной пленки на поверхности металла, состоящей из полиядерных комплексов цинка, то возможно, что при возрастании в процессе концентрирования ионов щелочноземельных металлов возникает синергетический эффект,

обусловленный образованием дополнительной защитной пленки уже из их комплексонов. В этом случае не следует также пренебрегать изменением ионной силы раствора.

Резюмируя изложенное, можно утверждать, что использование реагента КИСК-1 обеспечивает как безнакипный режим, так и снижение скорости коррозии при использовании высокоминерализованных вод или их концентрирование при использовании в замкнутых системах водоснабжения.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЗАДАЧ НАГРЕВА С ГРАНИЧНЫМИ УСЛОВИЯМИ 1 РОДА В ПАКЕТЕ ANSYS**

*Татарина Т.В., Горбунов В.А.*

*Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина*

*E-mail: tevp@tvp.ispu.ru*

В настоящее время с развитием компьютерных технологий появилось множество вычислительных пакетов для решения разнообразных задач теплообмена и гидрогазодинамики. Эти пакеты являются хорошим инструментом при конструировании и оптимизации работы оборудования.

Одним из важнейших критериев выбора и использования вычислительных комплексов является их точность. Но чаще всего анализ точности решения определенных задач отсутствует. Для оценки точности необходимо сравнить результаты, полученные в многофункциональном комплексе, с результатами физического эксперимента. При этом необходимо наличие соответствующего оборудования, а также больших денежных затрат. Иногда физический эксперимент провести просто невозможно. Для некоторых задач анализ точности можно провести сравнением полученных результатов с аналитическим решением. Считая результат аналитического решения истинным легко определить погрешность того или иного вычислительного комплекса.

Данная проблема была исследована на простейшем примере. В пакете Ansys Fluent решалась задача нагрева заготовки в виде бесконечной металлической пластины толщиной 0,1 м в течение 1000 секунд при граничных условиях 1 рода. При решении учитывалась зависимость теплофизических коэффициентов от температуры. Для этой же задачи было составлено численно-аналитическое решение в пакете MathCAD.

На точность полученных в вычислительном комплексе результатов влияет шаг по пространству  $\Delta x$  и шаг по времени  $\Delta t$  для четырехугольных сеток. С величиной данных параметров трудно определиться при решении задач. Для решения этой проблемы проводилось исследование влияния данных параметров на погрешность вычислений.

### *Библиографический список*

1. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.
2. Разработка математических моделей камерных кузнечных печей для предприятий машиностроения: Дипломная работа / Ж.Н. Рыбакова. Иваново: ИГЭУ, 2007. 142 с.
3. Разработка модели кузнечного производства в многоцелевом вычислительном комплексе: Дипломная работа / М.С. Седов. Иваново: ИГЭУ, 2009. 127с.

## ГРАНОДИОРИТ И ФЕЛЬЗИТ В ПРОИЗВОДСТВЕ КИСЛОТУПОРОВ

Толкачева А.С., Павлова И.А.

УрФУ

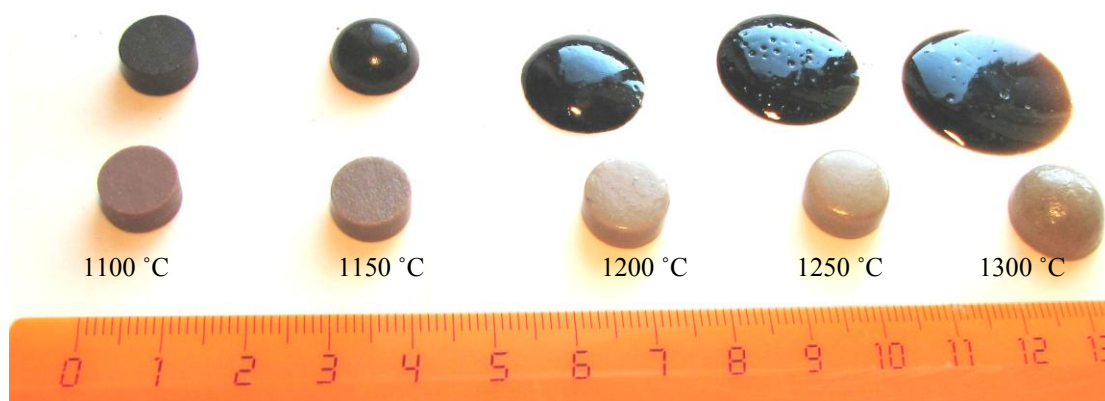
E-mail: ipavlusha@nm.ru

В связи с дефицитом качественного глинистого сырья применение некондиционного и нетрадиционного сырья, вовлечение в производство неиспользуемого или ограниченно используемого силикатного сырья является актуальной задачей при производстве строительной керамики.

Предварительные исследования свойств отсеков гранодиорита и фельзита показали, что они могут быть использованы в производстве кислотоупорного кирпича в качестве плавней. Плавни при обжиге образуют расплав, свойства которого определяют процесс спекания. Важную роль при этом играет вязкость расплава. Низкая вязкость, с одной стороны, обеспечивает быстрое спекание, но, с другой стороны, обуславливает деформацию изделий при обжиге.

Сравнение вязкостей расплавов гранодиорита и фельзита при обжиге выполнено по длине растекания образца по наклонной корундовой подложке. Угол наклона подложки –  $17^\circ$ , диаметр образцов – 10, высота – 5 мм. Образцы сформованы из тонкомолотых порошков гранодиорита и фельзита при давлении 40 МПа и обожжены в интервале  $1100...1300^\circ\text{C}$  с шагом  $50^\circ$ .

Образцы гранодиорита и фельзита спекаются при температуре  $1100^\circ\text{C}$ , при этом имеют четкие грани и размер по основанию 10,5 мм (рисунок, таблица). При повышении температуры обжига до  $1150^\circ\text{C}$  происходит деформация образца из гранодиорита, при этом образец из фельзита имеет четкие грани и стеклянный блеск. Оба образца припеклись к подложке. При обжиге при температуре  $1200^\circ\text{C}$  образец из гранодиорита растекается и имеет длину по основанию 17,2 мм, а у образца из фельзита оплавляются только грани. При обжиге образцов на температуру  $1250^\circ\text{C}$  продолжается растекание образца гранодиорита до величины 21,2 мм, а образцы из фельзита приобретают более округлую форму и увеличиваются в размерах (размер по основанию составляет 11,8 мм). Повышение температуры до  $1300^\circ\text{C}$  вызывает дальнейшее растекание образцов из гранодиорита (размер по основанию составляет 26,5 мм). Образцы из фельзита деформируются, размер образца по основанию составляет 14,4 мм.



Внешний вид образцов из гранодиорита (верхний ряд)  
и фельзита (нижний ряд) после обжига

Растекание образцов из гранодиорита и фельзита

Температура обжига, °С		1100	1150	1200	1250	1300
Длина основания образца	гранодиорита	10,5	11,8	17,2	21,2	26,5
	фельзита	10,5	10,5	10,5	11,8	14,4

Таким образом, можно предположить, что при нагревании гранодиорита образуется менее вязкий расплав, чем при нагревании фельзита, что подтверждается опытными данными. Образец гранодиорита, обожженный при 1150 °С, деформируется тогда, когда образец фельзита в этих же условиях имеет стеклянный блеск и четкие грани. О высокой вязкости расплава фельзита в сравнении с гранодиоритом свидетельствует также образование мелкопористой структуры фельзита и меньшая деформация образцов этого материала при обжиге при температурах выше температуры спекания. Вязкость образующегося расплава также повышается за счет растворения кварца, содержание которого в гранодиорите составляет 18...20 %, а в фельзите 35...40 %. При температуре обжига 1300 °С образцов фельзита и гранодиорита по данным РФА в них обнаружена единственная кристаллическая фаза кварц в количестве до 10 % в фельзите и около 1 % в гранодиорите.

Содержание в расплаве щелочных, щелочноземельных оксидов и оксидов железа понижает вязкость расплава и сужает интервал спекания, а также повышает растворяющую способность расплава по отношению к кристобалиту и кварцу, а, следовательно, повышает кислотостойкость стеклофазы и изделий в целом. Таким образом, при введении гранодиорита или фельзита в состав кислотоупорных шихт на основе Бускульской глины, можно снизить температуру спекания изделий, снизить образование кристобалита за счет растворения его в расплаве, а, следовательно, повысить качество кислотоупорного кирпича. Причем при введении фельзита можно обеспечить более широкий интервал спекания и меньшую деформацию изделий при обжиге, чем при введении гранодиорита. Более высокое содержание в гранодиорите оксидов железа, кальция, магния снижает кислотостойкость стеклофазы. С другой стороны, растворяющая способность расплава гранодиорита по отношению к кристобалиту, предположительно выше, чем у фельзита.

Применение отсевов фельзита и гранодиорита для производства кислотоупорного кирпича позволяет снизить расходы топлива на обжиг за счет уменьшения температуры обжига изделий на 50...100 °С, а также дает возможность замены дорогостоящих сортов глины на более дешевые.

## ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРА РАСЧЕТНОЙ САНИТАРНО-ЗАЩИТНОЙ ЗОНЫ ПРОМПЛОЩАДКИ ФГУП «ПО «УРАЛЬСКИЙ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД» ПО ФАКТОРУ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Тропина О.А., Семенова С.В., Правдин Б.А.*

*УрФУ*

*olga\_tropina@bk.ru.*

Исторически сложилось, что промышленные предприятия, как правило, находятся, в пределах городской или поселковой застройки, а селитебная зона и

объекты социально-культурного назначения размещаются на территории, непосредственно прилегающей к промплощадкам. Производственная и хозяйственная деятельность промышленных объектов оказывает негативное воздействие на население, вызывая дискомфорт проживания и возможность возникновения заболеваний.

С целью предотвращения или ослабления негативного воздействия производственных объектов на комфортность проживания и здоровье населения, определения возможности сохранения предприятия, применяемой технологии и объемов производства продукции в условиях города производится разработка проектов организации и благоустройства санитарно-защитной зоны (СЗЗ).

Под санитарно-защитной зоной понимают особую функциональную территорию, отделяющую предприятие от селитебной зоны либо от иных зон функционального использования территории с нормативно закрепленными повышенными требованиями к качеству окружающей среды.

В СЗЗ предприятий не допускается размещение объектов для проживания людей, поэтому территория СЗЗ не может рассматриваться как территория перспективной застройки. Кроме того, существуют ограничения размещения в пределах границ СЗЗ следующих объектов: коллективных или индивидуальных дачных садово-огородных участков, оптовых складов продовольственного сырья и пищевых продуктов, комплексов водопроводных сооружений для подготовки и хранения питьевой воды, предприятий пищевой промышленности, спортивных сооружений, парков, образовательных и детских учреждений, лечебно-профилактических и оздоровительных учреждений общего пользования.

Установление границ СЗЗ производится по совокупности физического и химического воздействий объекта на окружающую среду и здоровье населения.

Данная статья посвящена установлению расчетных границ СЗЗ для ФГУП «Производственное объединение «Уральский оптико-механический завод» (ФГУП «ПО «УОМЗ»), расположенное в г. Екатеринбург по адресу ул. Восточная, 33б по одному из физических факторов – фактору шумового воздействия.

В качестве нормативной основы для определения размеров СЗЗ, разработки проектов их организации и благоустройства является СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [1]. «Уральский оптико-механический завод» относится к 4 классу санитарной опасности объекта с СЗЗ равной 100 м.

Уменьшение нормативных размеров СЗЗ согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 допускается только при:

- объективном доказательстве стабильного достижения уровней техногенного воздействия на окружающую среду (ОС) и население ниже (либо в пределах) нормативных требований по материалам систематических (не менее чем годовых) лабораторных наблюдений за состоянием воздушной среды и благоприятных характеристиках физических факторов воздействия;
- при подтверждении замерами снижения уровней шума и уровней воздействия других физических факторов в пределах селитебной территории ниже гигиенических нормативов;

- перепрофилировании (реконструкции, модернизации и т. п.) предприятия с соответствующим уменьшением категории санитарной опасности объекта.

Предприятие ФГУП «ПО «УОМЗ» специализируется на выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области специальной техники и продукции гражданского назначения; разработке и производстве медицинских приборов и установок, высокоточных оптико-электронных и оптико-механических приборов, изделий специальной техники, товаров народного потребления.

На территории промплощадки размещены подразделения основной и вспомогательной деятельности предприятия ФГУП «ПО «УОМЗ» - производственные и административные корпуса, котельная, компрессорная, аммиачная станция, гаражи, мойка автотранспорта, открытые стоянки автотранспорта, склады, мазутохранилище, станция нейтрализации гальванического производства, очистные сооружения промливневых сточных вод, насосные станции систем водоснабжения и канализования, комбинат питания, поликлиника, автодороги и автопроезды, железнодорожные пути и т. д.

По всему периметру территория промплощадки ограждена забором.

Следует отметить, что промплощадка предприятия характеризуется достаточно высокой степенью озеленения. Площадь территории, занятая кустарниково-древесной растительностью, газонами и клумбами составляет около 34,8 % от общей площади производственной территории предприятия.

Ближайшая жилая застройка по отношению к границам производственной территории ФГУП «ПО «УОМЗ» расположена:

- на северо-западе на расстоянии 50-80 м (многоэтажная застройка, ул. Мичурина, 239);

Основным документом, осуществляющим нормирование шума, является СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [2].

Для оценки производственной деятельности предприятия ФГУП «ПО «УОМЗ» по фактору шумового воздействия была выполнена инвентаризация источников шума, функционирующих на промплощадке. В результате инвентаризации были выявлены стационарные источники шума. На промплощадке предприятия также функционируют нестационарные источники шума – автотранспорт, производящий доставку сырьевых материалов и вывоз готовой продукции.

Шумовые характеристики стационарного оборудования были приняты по справочным материалам, каталогам вентиляционного оборудования, техническим характеристикам заводов-изготовителей, и нормативной документации.

Из данных инвентаризации следует, что источниками внешнего шумового воздействия на предприятии являются:

- производственный корпус с установленным в нем технологическим и вспомогательным оборудованием;
- выхлопные отверстия систем вентиляции;
- автотранспорт.

Оценка уровня шумового воздействия производственной деятельности ФГУП «ПО «УОМЗ» на окружающую территорию производилась с использованием программы «Эколог- ШУМ» (версия 1.0). При расчете учитывалось шумовое воздействие от оборудования, расположенного внутри производственного корпуса и одновременность работы источников шума.

Допустимыми критериями для установления расчетной СЗЗ по фактору шума были приняты уровни звука равные 55 дБА, что соответствует установленным ПДУ для территорий, прилегающим к жилым домам, в дневное (с 7.00 до 23.00) время суток.

В программе «Эколог – ШУМ» задаются контрольные точки для территорий нормируемых зон, а именно: на границе ориентировочной СЗЗ, вблизи жилых и социальных объектов, в которых далее рассчитывается уровень звукового давления.

На основании полученных расчетов максимальное расчетное значение уровня шума – 42,3 дБА было определено у жилого дома по адресу ул. Мичурина, 239. Отсюда можно сделать вывод, что расчетный уровень шумового воздействия, создаваемый источниками ФГУП «ПО «УОМЗ», не превышает предельно допустимые санитарно-гигиенические нормативы в контрольных точках в районе ближайшей жилой застройки.

Кроме того, результаты акустических расчетов показали, что расчетные границы СЗЗ по фактору шумового воздействия предприятия (изолинии 1,0 ПДУ), проходят по территории промплощадки ФГУП «ПО «УОМЗ» и не выходят за ее границы. Жилая застройка в пределах зон с превышением ПДУ отсутствует.

После дальнейшего определения расчетных границ СЗЗ по другим физическим факторам, а также по фактору химического воздействия, подтверждения полученных расчетов натурными исследованиями, будут уточнены границы СЗЗ предприятия, что в свою очередь позволит использовать оставшиеся земли под строительство жилых и социальных объектов.

#### *Библиографический список*

1. СанПиН 2.2.1/2.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов // Российская газета, № 101, 29.05.2003.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Екатеринбург: ИД «УралЮрИздат», 2007. 20 с.

## **ГЛИНИСТОЕ СЫРЬЁ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА В КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Турлова О.В., Солдатова В.В., Курсанина К.В.,  
Алямовская И.С., Дариенко Н.Е.  
УрФУ*

В керамической промышленности в настоящий момент актуальным является вопрос использования местного доступного сырья вместо импортного. На предприятии ОАО «Керамика» г. Глазов (Удмуртия) данную проблему удалось

решить путем частичной замены дорогостоящей глины Веско-Прима месторождения Украины на глину Нижнеувельскую Челябинской области. Если раньше состав массы состоял из 27,0 % глины Веско-Прима, а оставшуюся часть (73,0 %) составляли глина Ярская, кварцевый песок, нефелин-сиенит и бой изделий, то в результате проведенных исследований на глину Веско-Прима стало приходиться всего 10,0 % и 17,0 % на Нижнеувельскую. Данный шихтовый состав используется на предприятии для изготовления керамических штофов методом шликерного литья в гипсовые формы. Введение нового сырья повлекло за собой изменение реологических свойств шликера, что потребовало оптимизировать состав и количество вводимых электролитов. Было опробовано множество различных электролитов как традиционных (жидкое стекло, сода, УЩР), так и нетрадиционных (ПАН, LITOPH). Таким образом, установлено, что при введении комплексной добавки 0,3 % жидкого стекла и 0,1 % углещелочного реагента (УЩР) достигается максимальная скорость набора керамического слоя на поверхности гипсовой формы.

Измененный состав массы с комплексной разжижающей добавкой были опробованы в промышленных условиях на ОАО «Керамика». В результате работы удалось сохранить коэффициент загустеваемости около 1,4...1,7, влажность шликера в интервале 45...48 %, увеличить набор черепка от 0,63 г/см<sup>2</sup> до 0,71 г/см<sup>2</sup> и снизить появление «волн» на отливке при сливе шликера из гипсовой формы с 5,0 до 1,0 %.

Введение местного сырья, Нижнеувельской глины, в состав керамической массы вместо глины Веско-Прима месторождения Украины позволит ежемесячно сократить затраты на сырье в 2 раза.

## **ОБЛЕГЧЕННЫЙ БЕТОН НА БАЗЕ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ**

*Уфимцев В.М., Коробейников Л.А., Толмачев А.Ю.*

*УрФУ*

*E-mail: LeonidKorobeynikov@mail.ru*

Текущая модернизация сталелитейного производства в стране состоит в замене мартеновских печей на электродуговые сталеплавильные (ДСП). Наибольший интерес, по нашему мнению, представляют пылевидные шлаки ДСП, образующиеся в результате диспергации двухкальцевого силиката из одной фазовой модификации в другую. С одной стороны, использование пылевидного шлака создает известные трудности, связанные с необходимостью пылеулавливания, с другой – существенно снижаются затраты на измельчение шлакового вяжущего, что удешевляет и упрощает технологию утилизации. Текущая модернизация сталелитейного производства в стране состоит в замене мартеновских печей на электродуговые сталеплавильные (ДСП). Наибольший интерес, по нашему мнению, представляют пылевидные шлаки ДСП, образующиеся в результате диспергации двухкальцевого силиката из одной фазовой модификации в другую.



Шлаковое вяжущее получали путем предварительно рассева на сите с ячейкой 1,2 мм продукта самодиспергации в виде смеси порошка, кускового шлака и корольков металла. После рассева порошковая фракция, доля которой в смеси превышала 90 %, измельчалась совместно с гипсом (фторгипс) и модификаторам и в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 400...500 м<sup>2</sup>/кг. Вяжущие свойства шлаков определяли на образцах, полученных из теста пластичной консистенции с подвижностью по визкозиметру Суттарда 10...11 см. Из теста формовали образцы-таблетки диаметром 28 и высотой 25 мм. Образцы твердели в эксикаторе над водной поверхностью. Их прочность оценивали по показателю предельной прочности торцевого сжатия. В табл. 1 приведены значения водовязущего отношения (В/В), сроков схватывания и прочность камня на его основе.

Таблица 1

Состав и свойства шлакового вяжущего

Состав вяжущего, %			В/В	Сроки схватывания, мин		Прочность на сжатие, МПа		
шлак	фторгипс	модиф.		начало	конец	1 сут.	7 сут.	28 сут.
89,7	10	0,3	0,25	13-50	16-50	13,9	32,2	38,15

При введении в шлак гипса достигается удлинение сроков схватывания, однако увеличение его доли до 25 % сопровождается расширением образцов. Наиболее вероятной причиной указанного явления следует считать образование высокосульфатной формы этtringита –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ , в котором объем новообразований, в сравнении с исходной фазой удваивается. Сравнивая воздействие на вяжущее гипсовых добавок в виде гипсового камня и фторгипса, предпочтение следует отдать последнему, т.к. его присутствие обеспечивает большее увеличение сроков схватывания. Дополнительное увеличение интервала схватывания обеспечивается введением в состав модифицирующей добавки.

Высокие прочностные показатели вяжущего позволяют рекомендовать его как исходный материал для получения пористого искусственного заполнителя, аналогичного безобжиговому зольному гравияу [1]. Ниже представлены результаты опытной грануляции на лабораторном тарельчатом грануляторе, продуктом которой является безобжиговый шлаковый гравий (БШГ).

Процесс грануляции осуществляли в циклическом режиме: порция шлака помещалась на вращающуюся тарель, увлажнялась и гранулировалась, после продукт рассеивался на ситах с отверстиями 7 и 12 мм.

Технические свойства БШГ (по ГОСТ 9757-90)

Размер гранул.....70-12 мм  
 Насыпная плотность.....980 и 1050 г/л  
 Марка по насыпной плотности .....D1000 и D1100  
 Прочность на сжатие в цилиндре.....10 и 17 МПа  
 Марка по прочности .....П400 (максимальная)

Прогнозируемый класс бетона по прочности В40, максимальное значение, предусмотренное стандартом.

В сравнении с безобжиговым зольным гравием, включающим 20 % портландцемента, БШГ затвердевает значительно быстрее и может отгружаться уже через сутки с момента грануляции, при этом данный продукт не нуждается в термообработке. В табл. 2 приведены результаты испытания БШГ на основе шлакового вяжущего и песка.

Таблица 2

Прочность бетона на основе БШГ, шлакового вяжущего

Средняя плотность, кг/л*	Прочность бетона, МПа	
	7 суток	28 суток
2,10	28,8	50,7

\* - после 7 суток воздушно-влажностного хранения.

Плотность бетона в сравнении с контрольным образцом на щебне на 10...15 % ниже, что приближает его к показателю плотности легкого, такой бетон можно классифицировать как «облегченный». Высокий показатель прочности бетона обусловлен высокой маркой по прочности БШГ и шлакового вяжущего, в котором контактная зона между заполнителем и вяжущим имеет максимальную прочность вследствие химического сродства.

Таким образом, установлено, что на основе шлака ДСП возможно получать высокомарочные бетоны. Полагаем, что такие композиции окажутся востребованными при изготовлении мелких стеновых камней по конвейерной технологии или для получения крупноразмерных конструкций на полигонах. По приблизительным оценкам предложенная технология способна экономить до трети средств в сравнении с изделиями на традиционных вяжущих материалах и заполнителе.

Серьезную проблему в использовании шлакового вяжущего представляет его ускоренное схватывание, поэтому разработка эффективных замедлителей шлакового ДСП – вяжущего весьма актуальна.

### *Библиографический список*

1. Уфимцев В.М., Владимирова Е.Б. Гранулирование золошлаков теплоэнергетики и перспективы их эффективного применения в строительстве // Технологии бетонов 2008. № 2. С. 44-47.
2. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе: Справ. пособие / С.Г. Васильков, С.П. Онацкий, М.П. Элинзон и др.; Под ред. Ю.П. Горлова. М.: Стройиздат, 1987. 304 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СТРУКТУР ДЛЯ ОПИСАНИЯ СЛОЯ ТБО В ПАКЕТЕ ANSYS FLUENT

Федосеев С.В., Горбунов В.А.

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

E-mail: tevp@tvp.ispu.ru

С развитием компьютерных технологий стало возможным создание вычислительных комплексов для решения задач гидрогазодинамики и теплообмена. Одним из таких комплексов является ANSYS с помощью него можно определять параметры процессов, такие как векторы скоростей, поля температур, давлений, концентраций, а так же могут быть рассчитаны процессы в шахтных печах с неподвижным слоем и с неизвестной структурой.

Целью исследования является: применение фрактальных структур для описания слоя твёрдых бытовых отходов (ТБО) в пакете ANSYS, моделирование процессов фильтрации слоя, нахождение его гидравлического сопротивления. А так же верификация модели на основе данных полученных в результате опытов на установке для фильтрации насыпного слоя ТБО.

Слово фрактал образовано от латинского fractus и в переводе означает состоящий из фрагментов. Одним из основных свойств фракталов является самоподобие. В самом простом случае небольшая часть фрактала содержит информацию о всем фрактале. В данной работе для описания слоя ТБО был выбран геометрический фрактал квадратный ковёр Серпинского, который является двумерным аналогом канторовского множества исключённых средних третей.

В вычислительном комплексе ANSYS FLUENT решалась задача нахождения гидравлического сопротивления слоя ТБО. Для этого, с применением геометрического фрактала, создавалась 2D модель газового пространства в слое. Элементы фрактальной геометрии в виде квадратов различных размеров представляли из себя элементы ТБО. Задавались физические свойства газовой среды (в качестве фильтрующего агента был выбран воздух) и задавались граничные условия: на входе принималась скорость движения воздуха, на выходе свободные граничные условия, на границе твёрдое тело-газ скорость газа принималась равной нулю. Затем менялась мера и размерность фрактальной структуры и вновь решалась задача. Полученные в результате моделирования данные сравнивались с экспериментальными и проводился анализ возможности применения данного фрактала для описания слоя ТБО.

*Вывод.* Для моделирования процессов связанных с фильтрацией через пористый слой, с неизвестной геометрией твёрдых частиц и пор можно использовать фрактальную геометрию в виде ковра Серпинского. Результаты физического моделирования совпадают, с достаточной степенью точности, с результатами математического моделирования в пакете ANSYS FLUENT.

## *Библиографический список*

1. Разработка модели кузнечного производства в многоцелевом вычислительном комплексе. Дипломная работа / М.С. Седов; - Иваново, 2009. – 127 с.
2. Божокин С.В. Фракталы и мультифракталы. Ижевск: 2001. 128 с.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА ВИБРАЦИЮ И ЭРОЗИЮ ТРУБОПРОВОДОВ С ДВУХФАЗНЫМ ПОТОКОМ

*Храпов А.П., Гныра Д.В., Велькин В.И., Пахалуев В.М.*

*УрФУ*

*aes1@mail.ustu.ru*

При движении жидкости с температурой, близкой к температуре насыщения, в достаточно длинных трубопроводах наблюдается испарение или резкое вскипание, если трубопровод содержит местные сопротивления. По мере роста паросодержания в трубопроводе могут возникать различные режимы течения, включая и снарядный, который является основным источником возбуждения вибраций трубопровода [1]. Кроме этого, значительную проблему представляет возникновение эрозии трубопроводов с двухфазными потоками.

В настоящее время существуют различные способы практической реализации снижения вибраций, одним из которых является установка закручивающих устройств (завихрителей). Они, обеспечивая сепарацию пара и воды, ведут к возникновению режима, близкого к кольцевому (в поворотном участке), тем самым способствуют снижению эрозии.

Для исследования влияния завихрителей пассивного типа с внутренней нарезкой на двухфазный поток был проведен ряд экспериментов, направленных на выяснение способности устройств снижать вибрацию трубопроводов и уменьшать эрозионное воздействие. Исследования проводились на экспериментальном стенде (рис. 1) [2]. В качестве исследуемых образцов использовались вставки завихрители с различным количеством эвольвентных нарезок (3, 6, 9 и 12).

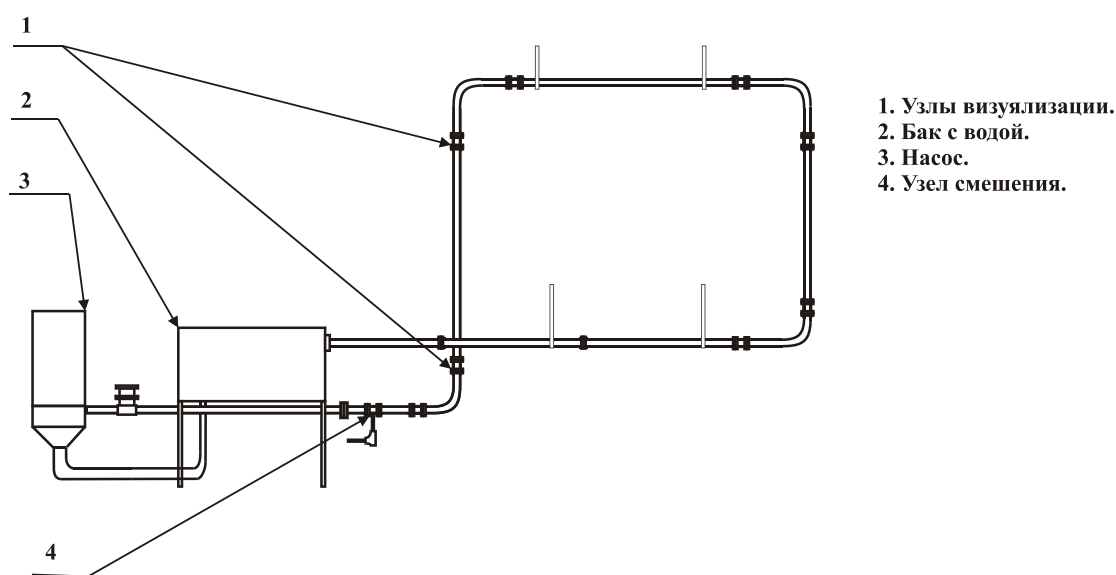


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Суть экспериментов заключалась в следующем: завихрители поочередно устанавливались на входе в поворотный участок трубопровода, в котором моделировался двухфазный поток. Изменяя объемные расходы воды и воздуха, создавались различные режимы течения газоздушного потока, характеризующиеся соответствующими расходными параметрами. Имеющееся оборудование позволяло определять расходное объемное газосодержание с учетом следующего соотношения.

$$\beta := \frac{v''}{v' + v''} \quad (1)$$

где  $v'$ ;  $v''$  - объемные расходы жидкой и газовой фазы.

Значения параметра  $\beta$  позволяют оценить структуру потока и влияние конструкции завихрителя на мощность возникающих вибраций (виброускорение). Измерения проводились при  $\beta=0$ ; 0,5; 0,667; 0,75, и значениях чисел  $Re=2000$ , 3000 и 4000.

Контрольные точки были расположены на выходе из поворота (т. 1) и посередине подъемного участка (т. 2).

Для определения частот, на которых возникают резонансы, виброанализатором СД-12М были сняты спектры при различных режимах двухфазного потока.

В спектрах, полученных на трубопроводе с гладкими стенками (без использования завихрителя), установлено, что максимальные значения виброскорости возникают на частотах 3,2 Гц, 5,25 Гц и 7,56 Гц.

При использовании вставок с 3 нарезками была наиболее выражена частота 5,25 Гц. Применение вставки с 12 нарезками смещало частоту возникновения пиков до 8,12 Гц. Вставка с завихрителем шнекового типа снижает частоту до 3,2 Гц.

Контрольные точки расположены на выходе из поворота трубопровода (т. 1) и посередине подъемного участка (т. 2). Ниже представлены фотографии завихрителей с канавками эвольвентного типа, которые использовались при проведении данной серии экспериментов.

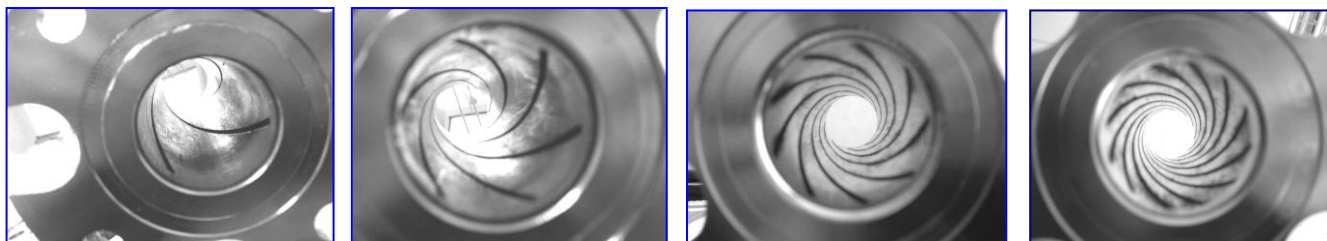


Рис. 2. Завихрители с эвольвентными канавками (3, 6, 9, 12) и углом закрутки  $180^\circ$

При сравнении спектров, полученных с использованием вставок и спектров трубы с гладкими стенками, максимум значений виброскорости на участках возрастает практически на всех режимах. По полученным спектрам можно

сделать заключение о смещении резонансных частот, но не о величине изменения вибрации (виброперемещения).

Для того чтобы определить величину изменения вибрации, необходимо использовать измерения уровней среднеквадратических значений (СКЗ) виброперемещения и виброскорости [3].

Для определения СКЗ виброхарактеристик в приборе СД-12 задавалось количество измерений. В данном случае было выбрано 15 измерений (отсчетов). В качестве эталонных значений брались уровни СКЗ виброхарактеристик трубопровода при течении двухфазного потока в гладких трубах (без завихрителя). Приведенный ниже график (рис. 3) показывает относительные изменения уровней виброхарактеристик в сравнении с эталонными значениями.

Как видно из графика изменения виброхарактеристик, наибольшим эффектом на данном участке обладает завихритель с двенадцатью эвольвентными канавками, который снижает вибрацию почти на всех режимах. При анализе вибраций учитывалась возможность возникновения собственных колебаний трубопровода и арматуры воздухонагнетательной установки, связанных с резонансными явлениями, имеющих механическую и аэродинамическую природу. Подающий воду насос при работе периодически давал перебои, в результате чего расход колебался в значительном диапазоне, что соответствующим образом отражалось на точности результатов измерений.

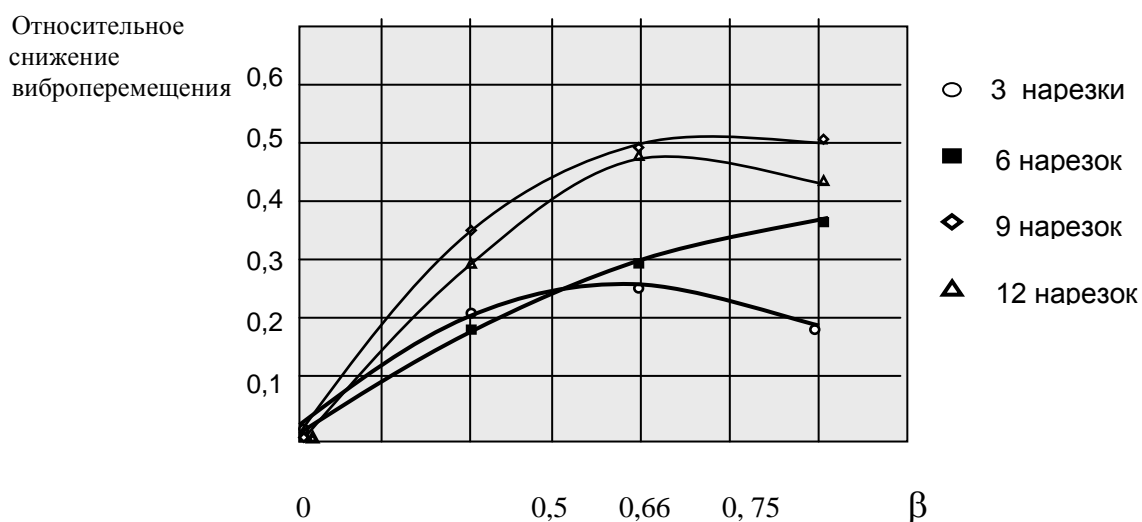


Рис. 3. Относительное снижение виброперемещения в точке 1 (выход из поворотного участка трубопровода) ( $Re\ 4000$ )

Таким образом, проведенные эксперименты показали эффективность предлагаемого метода снижения виброперемещения трубопроводов, транспортирующих двухфазный поток, до 25...50 %.

Применение завихрителей снижало виброперемещение при всех рассмотренных числах Рейнольдса и особенно выражено в области объемного газосодержания в диапазоне  $0,5 > \beta > 0,8$ .

Уместно предположить, что выравнивание градиента давления снижает не только вибрацию, но и эрозию в поворотном участке за счет более равномерного распределения жидкости по внутреннему диаметру трубопровода.

#### *Библиографический список*

1. Федорович Е.Д., Фокин Б.С., Аксельрод А.Ф. и др. Вибрации элементов оборудования ЯЭУ. М.: Энергоатомиздат, 1989. 168 с.
2. Велькин В.И., Щеклеин С.Е., Петров А.С., Немихин И.Ю. Стенд для исследований вибраций трубопроводов с двухфазным потоком // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2002.
3. Велькин В.И., Комоза Д.С., Крутиков А.Ю., Хныкина В.В. Микропроцессорный блок управления комплексным диагностическим стендом для исследований вибраций трубопроводов АЭС // Атомная энергия. 2009.

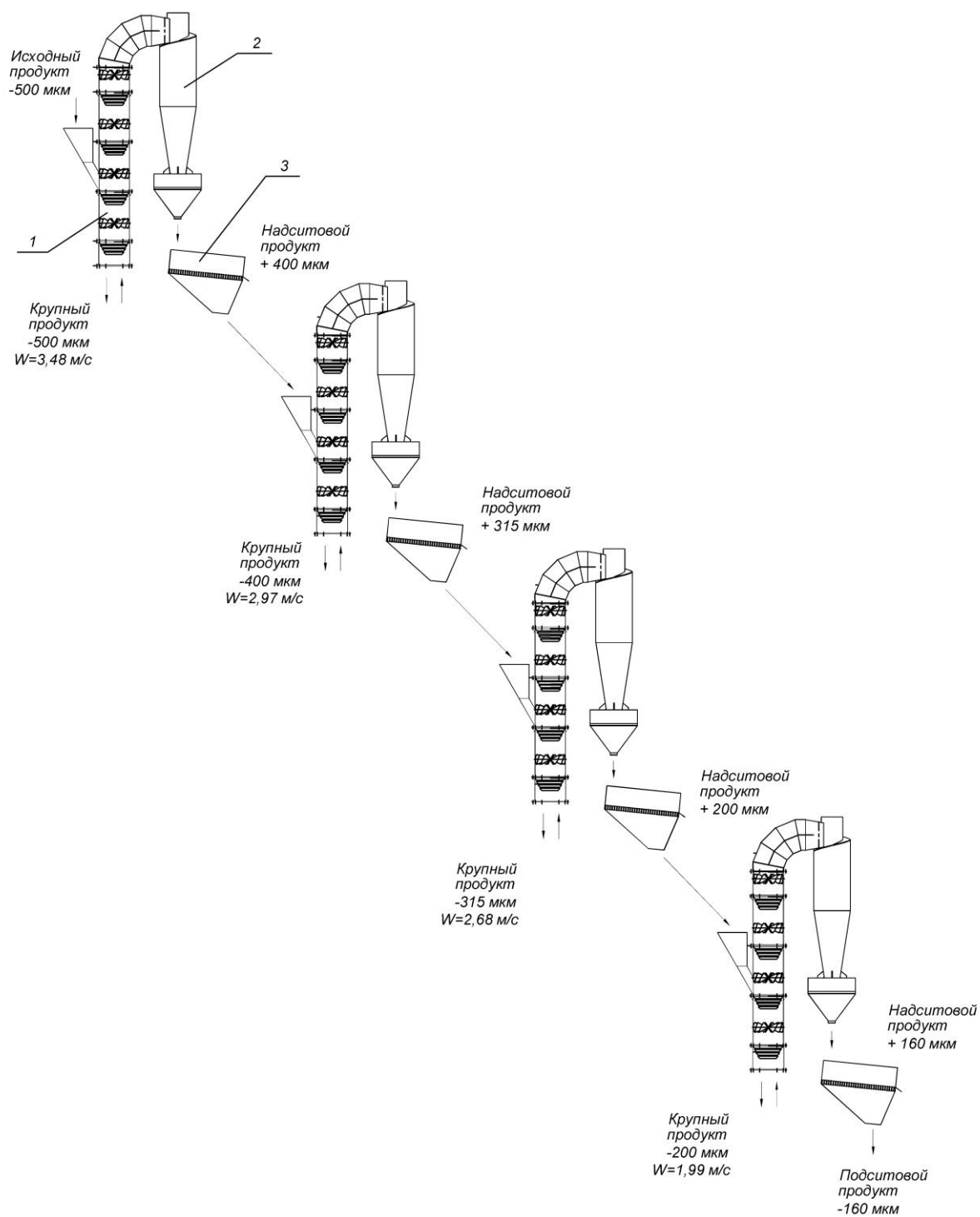
### **ВЫДЕЛЕНИЕ ПОСТОРОННИХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ**

*Цывунина А.А., Пономарев В. Б.  
УрФУ  
amar@r66.ru*

Современная промышленность предъявляет высокие требования к исходным сырьевым материалам, актуальной задачей является получение порошков с минимальным содержанием «вредных» примесей. Обычно такая задача решается при помощи гидросепарации в тяжелых средах, а так же на вибростолах и магнитных сепараторах.

Цель исследования – определить возможность сухого обогащения порошков с применением менее затратной пневматической каскадной классификации. Для исследований выбран порошок аморфного диоксида кремния (истинная плотность  $\rho_{\text{ч}} = 2700 \text{ кг/м}^3$ ), загрязненный посторонними примесями с плотностью  $5000 - 8000 \text{ кг/м}^3$ . Основные требования к готовому продукту: выход из исходного не менее 50 %, загрязнение посторонними зёрнами не более 0,5 %.

Опыты проводились в следующей последовательности. Исходный материал подавался в приемную точку воздушного поликаскадного классификатора, скорость воздушного потока в котором составляла 3,48 м/с. В результате фракционирования получался крупный продукт, обогащенный зёрнами примеси (загрязненный) и мелкий материал. Крупный продукт помещался в емкость для последующих анализов, а мелкий – сразу рассеивался на сите с размером 400 мкм. Надрешетный (очищенный) продукт отправлялся на анализ, подрешетный – на воздушную классификацию. Следующие этапы проводились аналогично, скоростные режимы и размеры сит указаны на рисунке.



Ступенчатая очистка методом воздушной сепарации и последующего грохочения от крупного продукта к мелкому:  
1 – пневмосепаратор, 2 – циклон, 3 – грохот



В результате были получены следующие продукты: очищенный аморфный оксид кремния в надрешетных фракциях +400; +315; +200; +160 мкм, загрязненный – в крупных продуктах воздушной классификации при скоростях потока 3,48; 2,97; 2,68; 1,99 м/с и в подрешетном материале -160 мкм.

Из каждого полученного продукта отбирались пробы, и подсчитывалось загрязнение фракций посторонними примесями.

Полученная фракция (-500...+200 мкм) имеет загрязнение примесями 0,14 %, при этом выход ее составляет 69,30 %, что удовлетворяет заданным ограничениям.

В результате данной работы продемонстрирована возможность обогащения по плотности сыпучих материалов с применением воздушной сепарации, разработана схема получения очищенного продукта и определены режимные параметры для конкретной производственной задачи.

#### *Библиографический список*

1. А.С. 1328999 (СССР), МКИ В 07 В 4/08. Пневматический гравитационный классификатор сыпучих материалов / М.Д. Барский, В.Л. Данилов, А.В. Говоров, А.В. Катаев, С.Ф. Шишкин. Открытия, изобретения. 1984. № 13.

## **ПОЛУЧЕНИЕ СВЕРХТОНКИХ ПОРОШКОВ ЦИНКА ГАЛЬВАНОСТАТИЧЕСКИМ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ**

*Чертаева А.О., Даринцева А.Б., Останина Т.Н.  
УрФУ*

*E-mail: el-chem@mail.ustu.ru*

Цинкнаполненные композиции (ЦНК) используются для защиты от коррозии стальных конструкций. Большим преимуществом таких покрытий является комплексный механизм защиты, сочетающий в себе изолирующее действие полимерной пленки связующего и протекторное действие наполнителя – порошка цинка. Условием реализации электрохимического механизма защиты является электропроводность ЦНК, которая обеспечивается при высоком содержании порошка цинка.

В настоящее время для изготовления ЦНК применяют цинковую пыль, состоящую из частиц сферической формы со средним размером от 3 до 8 мкм, полученную методом испарения-конденсации. Содержание таких частиц в ЦНК составляет 80...90 % (масс.). Однако высокое содержание цинка ведет к ухудшению адгезионных свойств покрытий.

Электролитические осадки цинка обладают разветвленной дендритной структурой. Благодаря этому при использовании порошков цинка, полученных электролизом, необходимая проводимость ЦНК может быть достигнута при их содержании 65...70 % (масс.). Это приведет к значительной экономии затрат на производство цинкнаполненных композиций и снижению их стоимости, а также к повышению качества защиты за счет улучшения адгезии покрытий. Однако существует проблема получения мелких частиц цинка в процессе электролиза без последующей операции размола.

Целью настоящей работы является поиск режимов получения сверхтонких дендритных осадков цинка и разработка методики оценки их структурных характеристик в ходе электролиза.

Для изучения динамики развития дендритного осадка на цилиндрическом электроде на кафедре ТЭХП разработана модель, позволяющая рассчитать структурные характеристики дендритного осадка ( $N$  – плотность размещения вершин на фронте роста осадка,  $\text{м}^{-2}$ ;  $r_B$  – радиус вершин дендритов) в процессе электролиза. Основное модельное уравнение характеризует изменение длины дендритов ( $y$ ) от времени роста осадка ( $t$ ) и включает в себя параметры, которые зависят от предварительной подготовки поверхности электрода ( $y_0$  – начальная высота неровностей), диффузионных параметров процесса ( $i_{\text{ПР}}$  – стационарная предельная диффузионная плотность тока), выхода по току металла ( $B_T$ ), природы металла ( $V$  – мольный объем металла), а также структурных характеристик осадка:

$$d_0 y + y^2 - (d_0 y_0 + y_0^2) = \frac{V}{zF} \frac{K_i d_0 i_{\text{ПР}} B_T}{2\pi N r_B^2} t. \quad (1)$$

Для проведения электролиза была использована установка, позволяющая одновременно регистрировать изменение потенциала электрода, проводить видеозапись роста осадка и фиксировать объем выделяющегося водорода. В центр цилиндрической ячейки подводился стержневой катод, изготовленный из цинковой проволоки диаметром 1 мм. По краю ячейки располагали кольцевой цинковый анод. Постоянный ток задавали с помощью потенциостата IPC-Pro. Потенциал электрода измеряли относительно цинкового электрода сравнения с использованием цифрового мультиметра APPA. Видеозапись роста осадка осуществляли с помощью видеокамеры Sony DCR-SR200E. Исследования проводили в растворе, содержащем 25 г/л ZnO и 160 г/л NaOH, при токах, превышающих величину предельного тока в несколько раз ( $K_i = 3, 6$  и  $9$ ).

Проведенные эксперименты показали, что развитие дендритного осадка цинка происходит неравномерно: интенсивное удлинение в первый момент после включения тока, постепенно замедляется (рис. 1). Изменяется во времени и структура растущих дендритов. Тонкие игольчатые осадки со временем становятся более крупными и округлыми. Осаждающийся металл кристаллизуется на фронте роста, который состоит из вершин-полусфер дендритов. Установлено, что с ростом тока (величины коэффициента истощения  $K_i$ ) увеличивается время активного роста дендритных осадков цинка и их длина.

С помощью вальомерметрических измерений проведено определение выхода по току водорода и цинка. В процессе электролиза выход по току цинка меняется от 76 до 96 %. Методом стационарных поляризационных кривых определены кинетические параметры разряда ионов цинка (ток обмена и коэффициент переноса), а также диффузионные параметры процесса.

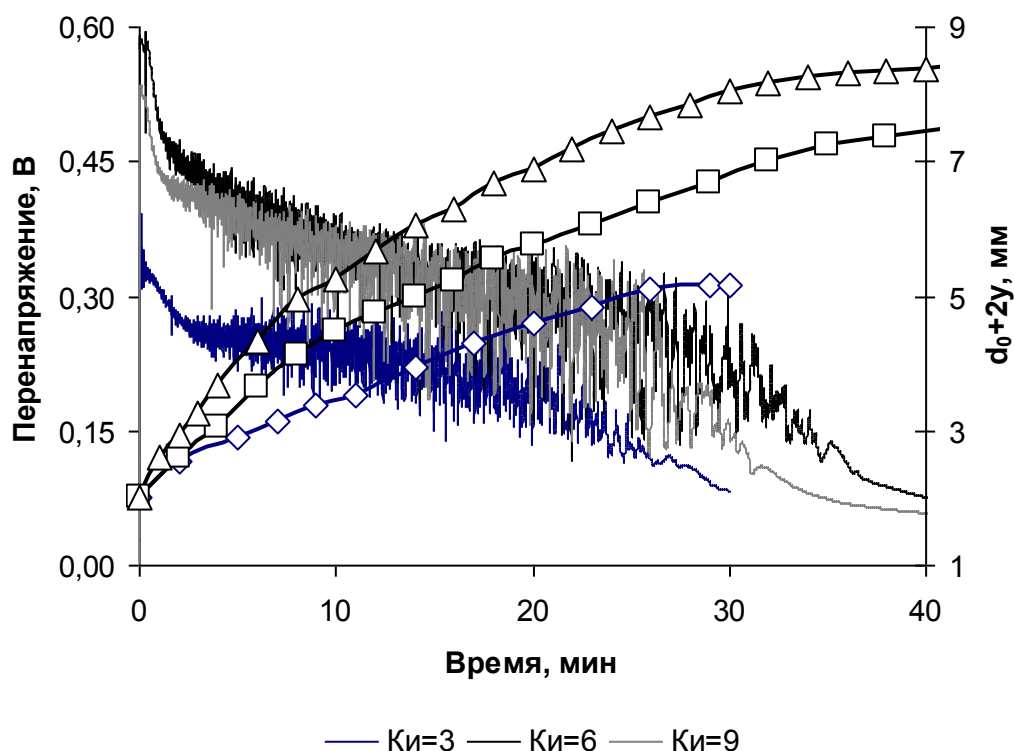


Рис. 1. Изменение во времени высоты слоя дендритного осадка (точки) и катодного перенапряжения (линии) при разных токах ( $K_i = 3, 6$  и  $9$ ).

На основе анализа экспериментальных данных по динамике роста дендритных осадков и изменения потенциала электрода в процессе электролиза проведен расчет структурных характеристик дисперсного осадка цинка (рис. 2).

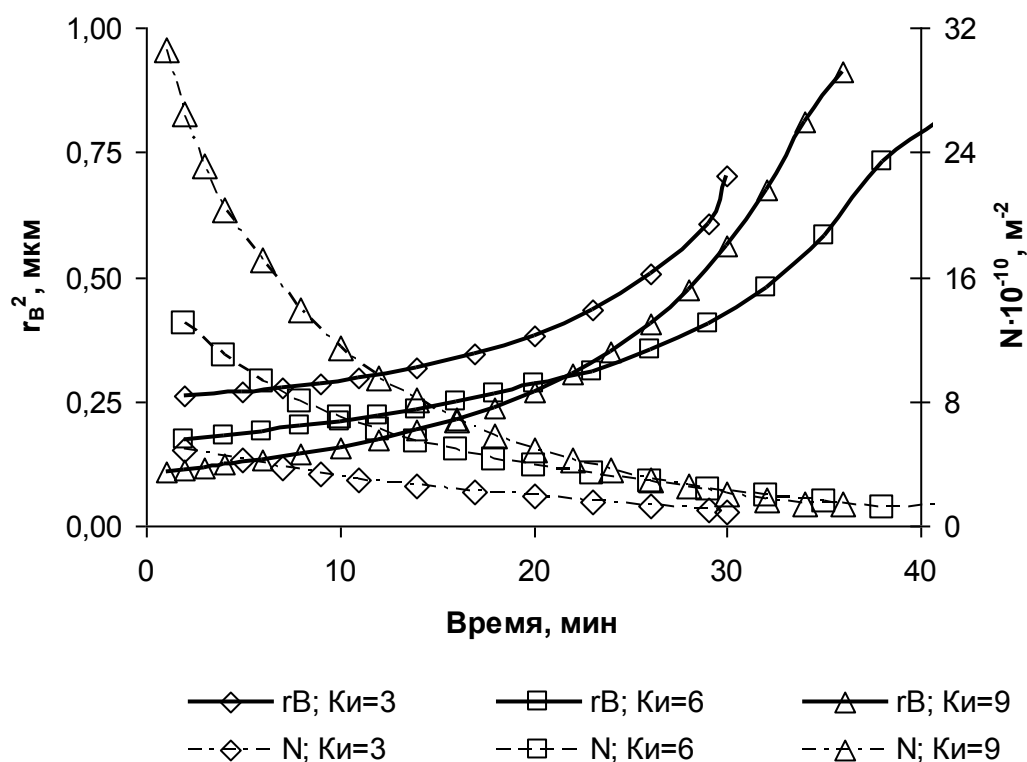


Рис. 2. Изменение радиуса вершин ( $r_B$ ) и их количества ( $N$ ) в процессе электролиза.

В ходе кристаллизации осадка происходит уменьшение плотности размещения вершин дендритов на фронте роста и увеличение радиуса вершин дендритов. Резкое увеличение размера вершин соответствует по времени спаду потенциала на хронопотенциограммах. Данный факт является свидетельством того, что начинается «заковывание» осадка, образование грубодисперсных частиц большого размера.

С ростом поляризующего тока уменьшается радиус вершин и увеличивается их количество в начальный период электролиза.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что для получения мелкодисперсных осадков в ходе гальваностатического электролиза необходимо использовать высокие токи и уменьшать время съема осадка с электрода.

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

*Шабалтун К.П., Толстова Ю.И.  
УрФУ  
e-mail: rudnik@mail.ustu.ru*

Реконструкция тепловых сетей, как правило, предполагает замену изношенных трубопроводов. При этом не рассматривается целесообразность сохранения или изменения схем подсоединения потребителей к тепловым сетям.

В 80-е годы получили распространение 3-х и 4-х трубные системы подачи теплоносителя после центральных тепловых пунктов (ЦТП). В таких системах два трубопровода предназначались для подсоединения систем отопления и один-два для подсоединения систем горячего водоснабжения. Преимуществом таких многотрубных систем считалось упрощение схем и оборудования индивидуальных тепловых пунктов (ИТП).

За истекший период существенно изменились цены на энергоносители, материалы и оборудование. В связи с этим представляется необходимым разработка и технико-экономическое обоснование проектов реконструкции систем теплоснабжения с целью выбора энергоэффективного варианта.

В расчётах следует учитывать также возможную реконструкцию и перепрофилирование объектов и подсоединение новых потребителей. Поэтому величина тепловой нагрузки требует уточнения и не может быть принята по данным теплоснабжающих организаций, особенно при отсутствии приборов учёта в ИТП зданий.

В таблице приведены результаты расчёта капитальных, эксплуатационных и приведённых затрат для двух вариантов реконструкции тепловых сетей микрорайона «Кировский» в г. Екатеринбург от ЦТП по ул. Гагарина, 3в.

Существующая система теплоснабжения после ЦТП трёхтрубная (два трубопровода для подсоединения к системам отопления и один трубопровод для горячего водоснабжения по тупиковой схеме). Для сравнения рассмотрен вариант двухтрубной системы после ЦТП с установкой в каждом ИТП подогре-

вателей горячего водоснабжения и подогревателей отопления, подключаемых по независимой схеме с насосной циркуляцией. Расчёты выполнены в ценах 2010 г.

При расчёте капитальных затрат для каждого варианта учтены затраты на засыпку траншей, укладку и изоляцию трубопроводов, установку арматуры, стоимость труб и арматуры. Для предлагаемого варианта учтена также стоимость оборудования ИТП (насосы, подогреватели).

Годовые эксплуатационные затраты включают затраты на электроэнергию, ремонт, оплату труда, амортизационные отчисления, управление, охрану труда. Так как расход и стоимость тепловой энергии для обоих вариантов одинаковая, этот вид затрат не учитывается.

Приведённые затраты  $\Pi$  рассчитывались с использованием нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений  $E_n$  по формуле

$$\Pi = \Gamma + E_n K,$$

где  $\Gamma$  – годовые эксплуатационные затраты, руб./год;  $K$  – капитальные затраты.

Значение нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений  $E_n$  принято равным 0,125, исходя из срока окупаемости 8 лет.

#### Экономическое сравнение вариантов

№ показателя	Показатель	Единица измерения	Предлагаемый вариант	Существующий вариант
1	Капитальные затраты	тыс. руб.	7770	9530
2	Эксплуатационные расходы	тыс. руб./год	3890	4110
3	Приведённые затраты	тыс. руб./год	4820	5260
4	Годовой экономический эффект	тыс. руб./год	440	

Несмотря на увеличение затрат на оборудование ИТП, предлагаемый вариант с заменой трёхтрубной системы на двухтрубную позволяет получить годовой экономический эффект в размере 440 тыс. руб./год при реконструкции тепловой сети одного микрорайона. Кроме того, снижается потребность в трубах, тепловой изоляции, а также трудоёмкость работ.

При замене существующей системы на двухтрубную также становится возможным производить учёт тепла каждым зданием, местное регулирование в осенне-весенний период и получать существенную экономию.

Полученные результаты подтверждают необходимость разработки и технико-экономического обоснования проектов реконструкции систем теплоснабжения с целью выбора эффективного варианта.

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАМЕНЫ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА СВЕТОДИОДНОЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОЛНЕЧНЫХ ФЭП

Андреева Т.А., Банных С.М., Велькин В.И.

УрФУ

[aes1@mail.ustu.ru](mailto:aes1@mail.ustu.ru)

В ходе проведения энергоаудита учебных корпусов УГТУ-УПИ в 2009 г. было установлено, что на освещение коридоров университета потребляется более 2 млн. кВт·ч электроэнергии и это «стоит» учебному заведению 3,2 млн. рублей бюджетных средств.

В настоящее время в УрФУ разработан пилотный альтернативный проект освещения коридоров одного из учебных корпусов с использованием солнечных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) [1]. Так, на южной стороне здания теплоэнергетического факультета смонтированы 4 панели ФЭП пиковой мощностью 960 Вт, проложен электрокабель к щитовой, выбран и приобретён контроллер и инвертор.

В реализации проекта произошла задержка по причинам относительно высокой затратности и неоднозначной эффективности подобной разработки. В связи с этим целесообразно ещё раз рассмотреть вопрос технико-экономического обоснования.

Сравнивая светодиоды с люминесцентными лампами, нельзя говорить однозначно о преимуществе первых. В первую очередь, следует учитывать тот факт, что для большинства случаев, где применяются в настоящее время люминесцентные лампы, по техническим показаниям и условиям эксплуатации выгоднее и безопаснее использовать именно светодиодное освещение. Светодиоды, как твердотельные источники света, не содержат стекла, нитей накаливания или сменных деталей, их невозможно разбить, и они не чувствительны к любым изменениям в электросетях. Кроме того, использованные люминесцентные лампы после завершения срока эксплуатации должны быть подвергнуты обязательной утилизации, как ртутьсодержащие отходы (РСО), что это влечет за собой дополнительные расходы.

В качестве примера представлен экономический анализ и расчёт срока окупаемости для светодиодной системы с использованием светодиодов американской корпорации *Cree* [2] и применением солнечных ФЭП указанной выше пиковой мощности.

Стоимость оборудования, входящего в состав системы светодиодного освещения, состав и цена представлены в таблице.

Наименование	Единица измерения	Количество, единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма, тыс. руб.
Фотоэлектрический модуль RZMP-240-T	шт.	4	30000	120,0
Аккумулятор Delta DTM12100	шт.	4	8500	34,0

Наименование	Единица измерения	Количество, единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма, тыс. руб.
Инвертор «МАП-Энергия» 8,8 кВт	шт.	1	47800	47,8
Распределительный шкаф	шт.	1	2500	2,5
Кабель ВВГ3х6	м	40	76,07	3,04
Кабель ВВГ3х1,5	м	80	21,18	1,7
Контроллер	шт.	1	30000	30,0
Светодиодный светильник DLO-24	шт.	16	5100	81,8
Сумма затрат на оборудование первого этажа (головной образец) (без монтажа)				320,84

При расчете учитывается, что срок службы светодиодных светильников при круглосуточной работе составляет 10 лет, люминесцентных – 2 года. Так же при расчете срока окупаемости светодиодной системы предусматривается замена аккумуляторных батарей 2 раза за весь период эксплуатации системы, срок службы которых меньше, чем срок службы светодиодных светильников и составляет 5 лет.

Динамика затрат с начала эксплуатации светодиодной и люминесцентной систем для одного коридора по годам представлена на графике (рис. 1).

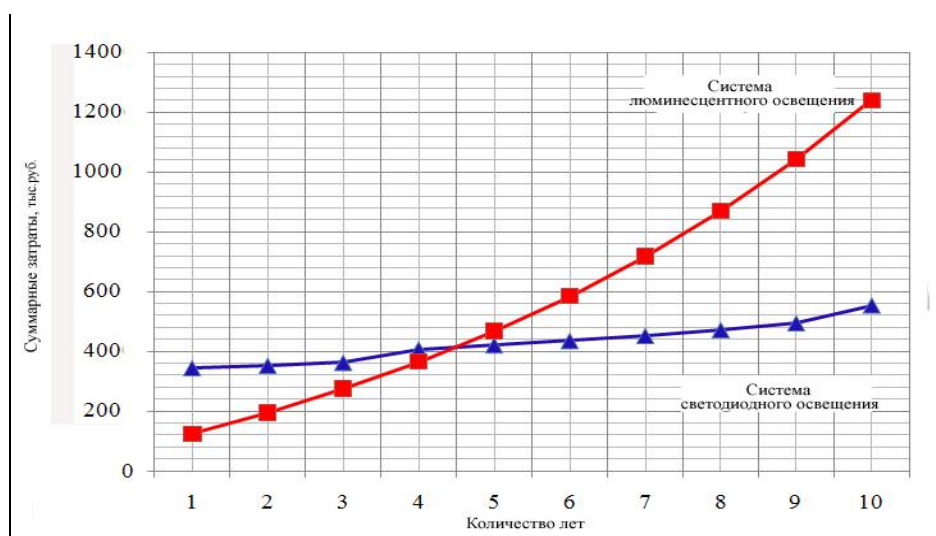


Рис. 1. Суммарные затраты с начала эксплуатации светодиодной и люминесцентной систем для одного коридора

Из графика видно, что окупаемость затрат на оборудование при монтаже светодиодной системы освещения для одного этажа составляет 4,5 года. Суммарные затраты с начала эксплуатации светодиодной и люминесцентной систем для всего учебного корпуса ТЭФ представлены на графике (рис. 2).

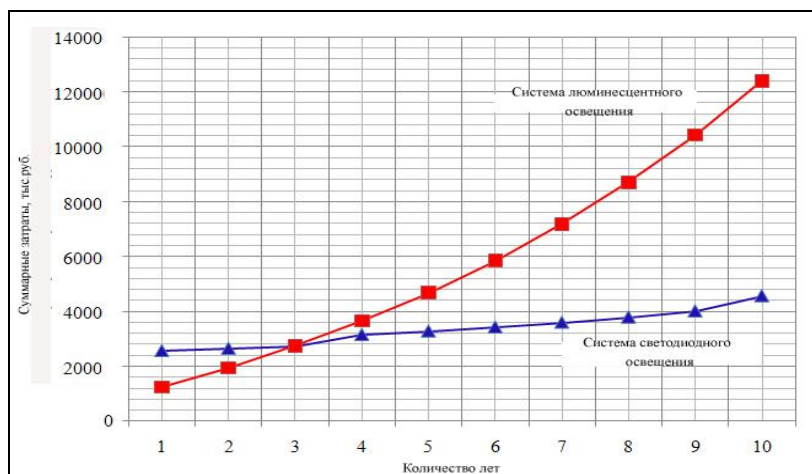


Рис. 2. Суммарные затраты с начала эксплуатации светодиодной и люминесцентной систем для всего учебного корпуса ТЭФ

Анализ графиков показывает, что срок окупаемости при переходе от люминесцентного освещения к светодиодному для коридора второго этажа учебного корпуса сокращается. Это связано с тем, что часть оборудования для освещения последующих этажей здания уже будет функционировать и расходы будут составлять только затраты на покупку непосредственно светодиодных ламп, их монтаж и прокладку кабельного хозяйства. Следовательно, расходы и срок окупаемости будут сокращены пропорционально объемам внедряемой системы.

Необходимо также учитывать, что рост тарифов на электроэнергию ежегодно составляет 10...12 %, а стоимость приобретения светодиодных светильников может быть снижена за счет оптовой скидки на большую приобретаемую партию.

Таким образом, переход на светодиодное освещение в масштабах учебного корпуса, а в дальнейшем и не все корпуса университета с использованием фотоэлектрических преобразователей является перспективным и окупится, с учетом роста тарифов на электроэнергию, в течение 3,5...4 лет.

### *Библиографический список*

1. Велькин В.И., Банных С.М. Энергоэффективное и аварийное освещение коридоров в УГТУ-УПИ // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009 г., научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых 14-18 декабря 2009 г. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 33-34.
2. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ., под ред. А.Э. Юновича. 2-е изд. М.: Физматлит, 2008. 496 с.



## ЦИНК – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Аникин А.К.  
УрФУ  
rsbf@mail.ru

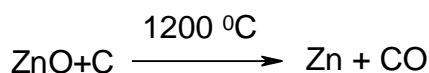
Количество солнечной энергии, поступающей на Землю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и других энергетических ресурсов. Использование всего лишь 0,0125 % могло бы обеспечить все сегодняшние потребности мировой энергетики, а использование 0,5 % – полностью покрыть потребности в будущем. На сегодняшний день весьма актуальной задачей является применение солнечной энергии в различных отраслях промышленности. В частности в химической промышленности. В настоящий момент существуют интересные разработки по производству металлического цинка, с использованием только солнечной энергии.

Во Франции и Швейцарии было создано несколько экспериментальных установок, по преобразованию солнечной энергии в другие виды энергии через энергию химических реакций. Далее приведен принцип работы такой установки.

Поток солнечных лучей попадает на оптическую обогатительную систему, которая включает в себя:

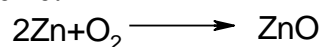
- гелиостатное поле,
- башню-отражатель,
- систему параболических концентраторов.

Солнечные лучи падают на гелиостаты, после чего отражаются от них и попадают на зеркало башни отражателя, а затем поступают на систему параболических концентраторов. При этом параболические концентраторы располагаются в верхней части химического реактора для получения металлического цинка. Нижняя часть химического реактора содержит смесь оксида цинка и восстановителя. В качестве восстановителя можно использовать уголь, кокс, биомассу. Солнечная энергия, накопленная в системе концентраторов, выступает в роли инициатора для химической реакции:



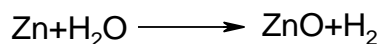
При этом применение восстановителя позволяет уменьшить температуру процесса получения цинка, чем при разложении его оксида. Монооксид углерода, образующийся в результате реакции, если обогатить его водородом, может использоваться в качестве водяного газа. Полученный металлический цинк можно использовать двумя путями:

1) Производство электрической энергии в цинково-воздушном топливном элементе. Процесс идет по схеме:



Реакция протекает за счет кислорода воздуха.

2) Производство водорода, за счет помещения цинка в воду. Процесс описывается следующей схемой.



При возвращении оксида цинка в реактор создается замкнутый цикл.

Производство металлического цинка при использовании солнечной энергии схематично показано на рисунке.

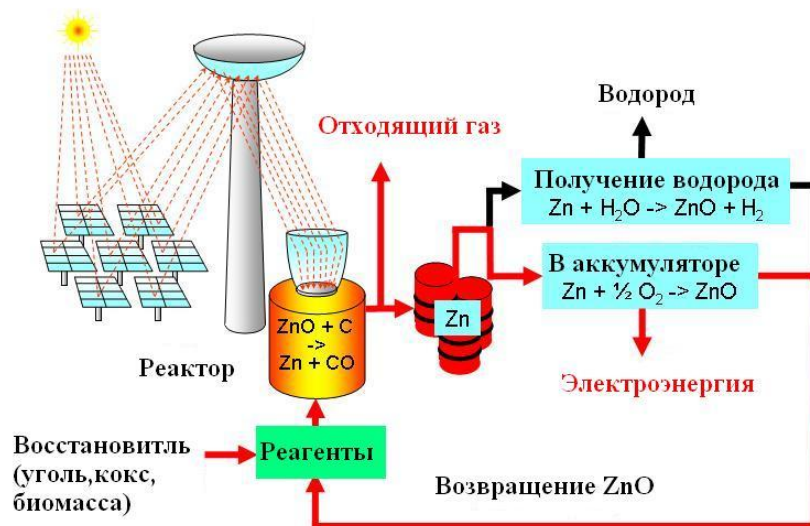


Схема производства металлического цинка на основе солнечной энергии

Таким образом, данный процесс можно рассматривать как превращение солнечной энергии в электрическую, либо в водород, который можно использовать как энергоноситель.

Преимущества данной схемы:

- сокращение потребления энергоносителей, за счет использования доступной солнечной энергии;
- замкнутость цикла;
- получение дополнительных продуктов, которые могут использоваться в качестве топлива;
- возможность получать электроэнергию «на месте»;
- отсутствие загрязнения окружающей среды пылевыми выбросами.

Можно рассматривать цинк как перспективный материал для преобразования солнечной энергии в электрическую, через энергию химической реакции.

### Библиографический список

1. Wieckert C., Palumbo R., Frommherz U. A Two-Cavity Reactor for Solar Chemical Processes: Heat Transfer Model and Application to Carbothermic Reduction of ZnO // Energy. 2004. V. 29. P. 771–787.
2. Wieckert C., Palumbo R., Frommherz U. A 300 kW Solar Chemical Pilot Plant for the Carbothermic Production of Zinc // Journal of Solar Energy Engineering. 2007 V. 129. P. 190-196.

# О ВЛИЯНИИ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Арбузова Е.В., Щеклеин С.Е.

УрФУ

e-mail: aes@mail.ustu.ru

Как было показано в ряде работ для климатических условий России, эффективность биогазовых технологий существенно ниже Европейских.

Исследовалась энергетическая эффективность установок анаэробного сбраживания отходов животноводства для следующих режимов: термофильного ( $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), мезофильного ( $+36\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), психрофильного ( $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Влажность субстрата – 92,4 %. Схема сбраживания приведена на рис. 1.

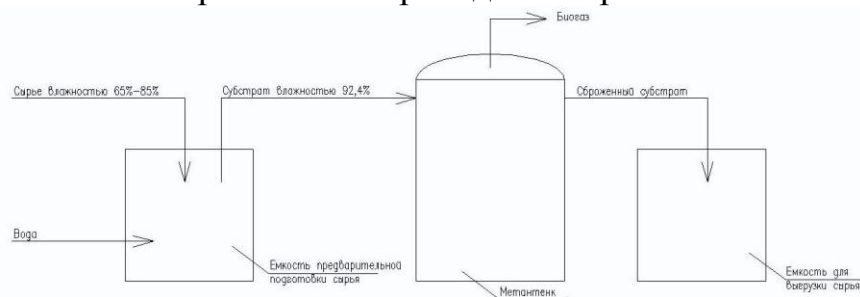


Рис. 1. Схема анаэробного сбраживания «Схема 1»

На рис. 2 приведены диаграммы затрат для различных режимов анаэробного сбраживания по схеме 1.

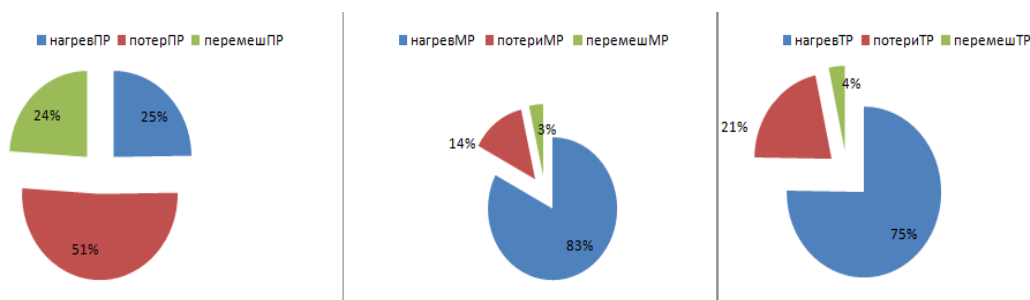


Рис. 2. Диаграммы затрат для психрофильного (а), мезофильного (б), термофильного (в) режимов анаэробного сбраживания.

В связи с этим были рассмотрены две схемы: «Схема 2» (рис. 3) и «Схема 3» (рис. 4) анаэробного сбраживания, которые решают основную проблему использования биотехнологий на территории РФ – нагрев при первоначальной загрузке субстрата.

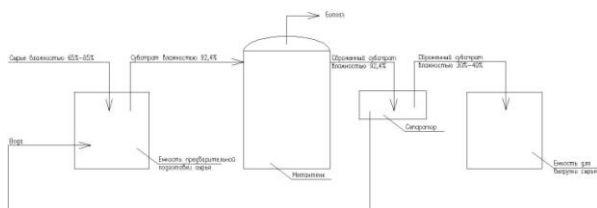


Рис. 3. Схема анаэробного сбраживания «Схема 2»

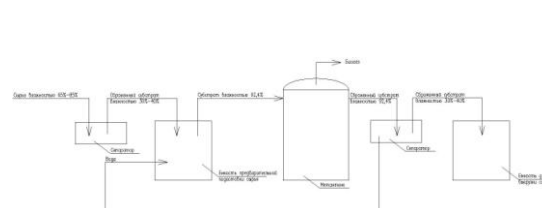


Рис. 4. Схема анаэробного сбраживания «Схема 3»

Коэффициент эффективности для трех схем приведен на рис. 5.

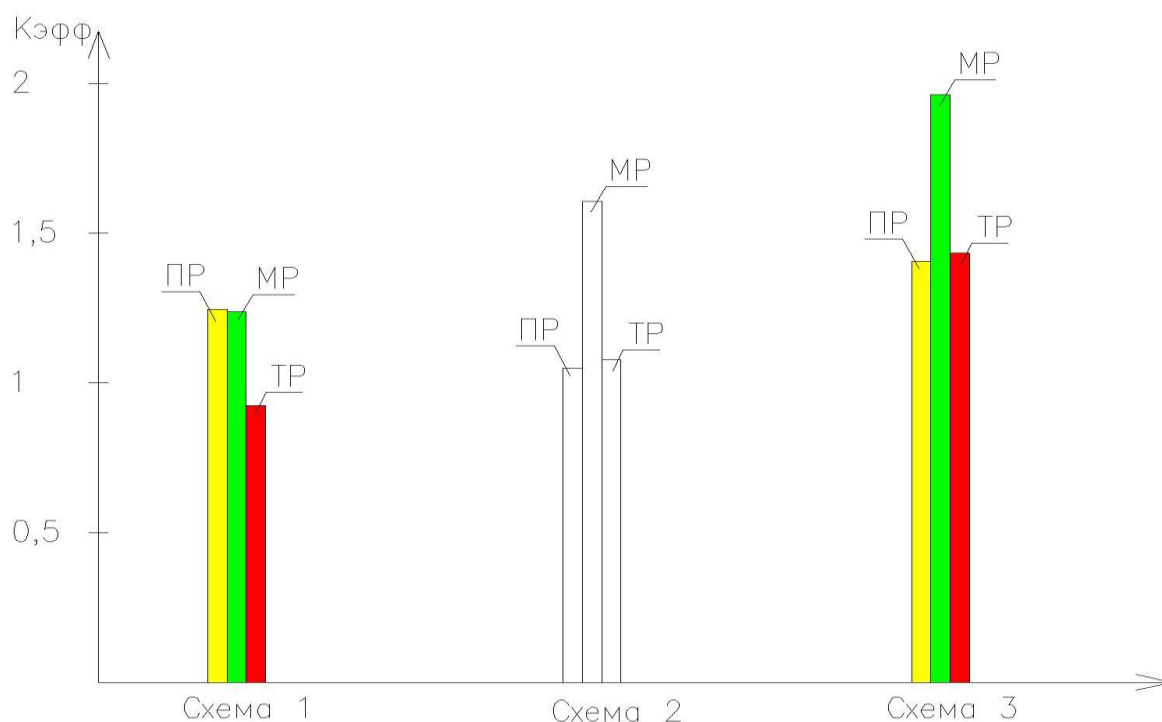


Рис. 5. Коэффициент эффективности для трех схем анаэробного сбраживания для психрофильного (ПР), мезофильного (МР) и термофильного (ТР) температурных режимов

На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что регенерация тепла позволяет повысить эффективность биогазовой технологии до европейского уровня.

## ХИМИЧЕСКИЙ И ГАЗОВЫЙ СОСТАВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ МУТНОВСКОЙ ГеоЭС

*Бабушкин Н. А.  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: atikin.89@mail.ru*

Мутновская ГеоЭС – крупный энергетический объект в России использующий возобновляемый источник энергию. Этой энергией является тепло Земли.

Станция работает за счет использования геотермальных ресурсов, поступающих из Мутновского месторождения.

Добывочные скважины Мутновского месторождения по химическому составу сепарата можно разделить на две группы:

- Первая группа – с преобладанием в составе сепарата сульфат–иона (скв. №№5-Э, 4-Э, 24).

- Вторая группа – с преобладанием в составе сепарата хлорид–иона (скв. №№ 029W, А-2, 013, 037, ГК-1, 042, 053).

Химический состав конденсата пара идентичен для всех добычных скважин, практически это дистиллированная вода (минерализация 20...30 мг/л) слабокислого (рН = 5) состава.

Добычные скважины Мутновского месторождения парогидротерм весьма близки по химическому составу ПВС, хотя имеют значительные различия в глубинах вскрытия продуктивной зоны и другим характеристикам.

Наиболее значимыми параметрами химического состава, отражающими температуру продуктивной зоны добычной скважины, является содержание силикатов в сепарате и общая минерализация ПВС. Общая минерализация варьирует от 0,8 до 1,5 г/л. Содержание кремнезема составляет 0,4...0,7 г/л.

Для Мутновского месторождения был рассмотрен осредненный химический состав ПВС.

Содержание неконденсируемых газов в составе теплоносителя МГеоЭС-1 имеют значения от 0,12 до 0,2 масс. %. В скважинах А-2, 013, 016, 26 периодически регистрируются значения, превосходящие 0,2 масс. %. Химический анализ газа представлен в таблице.

Химический состав газа

Компонент	Скважина									
	24	4-Э	042	037	029W	26	ГК-1	013	А-2	016
He	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H <sub>2</sub>	0,173	0,0	0,857	0,0	2,51	2,12	2,36	2,41	1,56	3,58
O <sub>2</sub>	0,883	0,0	2,23	0,0	0,23	0,19	0,29	1,46	0,28	0,12
Ar	0,048	0,0	0,35	0,0	0,02	0,06	0,03	0,08	0,02	0,02
N <sub>2</sub>	3,19	0,0	20,9	0,0	1,24	3,41	1,58	7,05	1,18	1,32
CO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CH <sub>4</sub>	0,07	0,0	0,59	0,0	0,07	0,2	0,09	0,14	0,08	0,15
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,0	0,0	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CO <sub>2</sub>	69,95	87,09	62,47	86,36	76,58	84,05	76,3	75,7	71,4	78,1
H <sub>2</sub> S	12,3	12,91	12,58	13,64	19,33	9,96	19,4	13,1	25,4	16,7

В формировании газового состава теплоносителя принимают участие как эндогенные компоненты (глубинная составляющая), так и газы воздушного происхождения. Среди них выделяется метеорная составляющая – отражающая поступление в геотермальный резервуар поверхностных вод.

Химический анализ поступающей на станцию пароводяной смеси позволяет принять правильное решение по выбору технологии производства энергии на рассмотренной ГеоЭС.

### *Библиографический список*

1. Расширение Мутновской ГеоЭС-1 за счет использования потенциала сбросного сепарата: Техническое задание на выполнение эскизного проекта расширителя геотермального пара. М.: ЗАО «ГЕОИНКОМ», 2009.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ НА ВТОРИЧНОМ ПАРЕ ДЛЯ МУТНОВСКОЙ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

*Бабушкин Н. А.*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*E-mail: atikin.89@mail.ru*

Проект модернизации и расширения Мутновской ГеоЭС позволил обратить внимание на различные варианты технологических схем получения электрической энергии.

В работе была рассмотрена технология получения электроэнергии от двух паровых турбин установленных на станции.

Для целей проекта требуется паровая конденсационная турбина с низким начальным давлением пара 0,2...0,3 МПа и расходом пара около 20 кг/с. Желательно, чтобы конструкция турбины и применяемые в ней материалы были адаптированы к условиям работы на геотермальном теплоносителе. К сожалению, в номенклатуре продукции отечественных турбинных заводов такие турбины, удовлетворяющие всем названным требованиям, отсутствуют. Поэтому, исполнителем в рамках данной работы был проведен поиск возможных решений по модификации существующих турбин применительно к проектным условиям [1].

Согласно расчетам, оптимальное давление в расширителе составляет 0,2 МПа. С учетом низкого начального давления, важным условием является требование малых потерь в расширителе, сепараторе и паропроводах. Для предварительного анализа можно принять давление перед турбиной равным давлению в расширителе.

Мощность, развиваемая паровой турбиной, определяется расходом пара, срабатываемым теплоперепадом, который зависит от параметров пара перед и за турбиной, а также КПД ее проточной части.

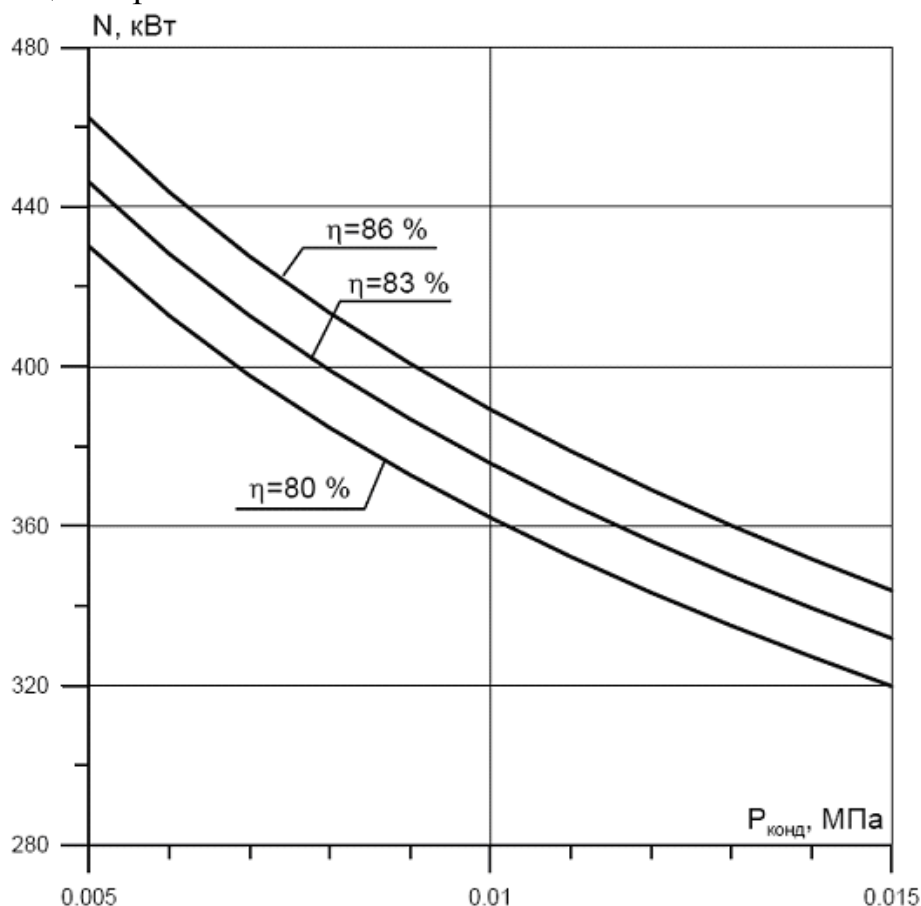
Важнейшим параметром, влияющим на мощность турбины, является давление за турбиной (в конденсаторе), которое определяется условиями охлаждения. Для условий площадки Мутновской ГеоЭС давление в конденсаторе может быть в пределах от 0,005 до 0,015 МПа в зависимости от расчетной температуры окружающего воздуха, принятой системы охлаждения, а также поверхности теплообмена охлаждающих устройств. Анализ влияния расчетной температуры окружающего воздуха на давление конденсации и требуемую поверхность теплообмена будет дан ниже.

На рисунке представлены расчетные графики приведенной мощности паровой турбины первого контура в зависимости от давления в конденсаторе и

при разных значениях кпд турбины (давление пара на входе в турбину 0,20 МПа; температура 120,0 °С, расход пара 1,0 кг/с).

Принимая во внимание реальный расход теплоносителя, который может быть задействован в выработке вторичного пара (сепарат от действующей МГеоЭС-1 с параметрами  $G_c=179$  кг/с,  $p=0.7$  МПа,  $t=150$  °С; сепарат от вертикального сепаратора с параметрами  $G_c=93$  кг/с,  $p=0.7$  МПа,  $t=170$  °С; ПВС от скважины 5-Э с параметрами  $G_{пвс}=14$  кг/с,  $p=0.5$  МПа,  $t=152$  °С), из которого при расширении до давления 0,2 МПа можно получить максимум 23 кг/с пара, то при кпд паровой турбины 0,80 и давлении конденсации в диапазоне от 5,0 до 15,0 кПа (рисунок), мощность паровой турбины первого контура может находиться в диапазоне от 7,3 до 9,8 МВт.

При выборе мощности паровой турбины необходимо также учитывать типоразмерный ряд выпускаемых промышленностью электрических генераторов, который предусматривает следующие мощности электрических машин: 2,5 МВт; 4,0 МВт; 6,0 МВт и 12 МВт. Помимо электрогенераторов этих, наиболее распространенных единичных мощностей, рядом предприятий (ООО «Электротяжмаш-Привод», г. Лысьва, ОАО «ЛЭЗ», С-Петербург), выпускаются электрогенераторы мощностью 8,0 МВт, которые могут быть применимы для целей настоящего проекта.



Приведенная мощность паровой турбины в зависимости от давления в конденсаторе и при разных значениях кпд турбины (давление пара на входе в турбину 0,2 МПа; температура 120,0 °С, расход пара 1,0 кг/с).

Данный анализ позволяет выбрать правильное решение по комплектации оборудованием второго контура станции.

### *Библиографический список*

1. Щегляев А.В. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкции турбин: Учеб. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1993. 384 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАНА НА ПОЛИГОНЕ ТБО**

*Барабанова Ю.А., Владимирова Ю.А., Немихин Ю.Е.*

*УрФУ*

*nemikhin@rambler.ru*

Полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) в процессе своего существования значительно ухудшают экологическое состояние окружающей природной среды.

Современные городские свалки ТБО – существенный источник эмиссии газообразного метана в атмосферу Земли, которая ежегодно составляет 10...30 млрд м<sup>3</sup> [1], для России эта цифра по разным источникам колеблется от 0,9 до 1,1 млрд м<sup>3</sup>.

Гигиенический норматив по метану, согласно утвержденного «ориентировочно-безопасного уровня воздействия» (ОБУВ) для стран СНГ, составляет:

50 мг/м<sup>3</sup> – для воздуха населенных пунктов;

200 мг/м<sup>3</sup> – для атмосферного воздуха над полигоном ТБО.

Потенциальный вред, который может быть вызван свалочным газом (СГ), в состав которого входит метан, разделен на категории следующим образом [2]:

1) Физиологические: опасность удушья, которое вызывается замещением насыщенного кислородом воздуха газом мусорных свалок. Тошнота и угар через вдыхание токсических компонентов газа. Разрушение зеленого покрова на площади мусорной свалки и вокруг.

2) Физические: опасность взрыва через образование смесей метана с воздухом в пределах взрывоопасных концентраций метана. Мусорные или медленно тлеющие пожары, вызванные через воспламеняемость газа мусорных свалок. Эти опасности чрезвычайно коварны из-за непредсказуемости миграции мусорного газа через слои мусорной свалки.

3) Загрязнение окружающей среды: свободное распространение СГ приводит также к загрязнению атмосферы прилегающих территорий, токсичными и дурно пахнущими соединениями. СГ является парниковым газом, который усиливает эффект изменения климата Земли в целом.

В то же время свалочный метан представляет собой возобновляемый источник энергии и может компенсировать часть энергетических затрат на содержание полигона.

В России проведена инвентаризация свалок ТБО [3] и создана база данных, включающая следующую информацию: наименование свалки, местоположение, год начала эксплуатации, год закрытия или планируемого закрытия, размеры (площадь, высота или глубина), наличие / отсутствие природоохран-



ных сооружений, объем и масса ежегодно размещаемых отходов, объем и масса накопленных отходов, владелец свалки и его контактная информация, расчетная оценка количества образующего свалочного газа и метана.

На основании собранной информации выполнено ранжирование свалок по площади, количеству поступающих и количеству накопленных отходов. В результате ранжирования выявлены наиболее крупные свалки, которые могут быть первоочередными кандидатами для реализации проектов по извлечению метана, к ним относится и Широкореченский полигон под Екатеринбургом.

Для определения возможного объема сбора метана наиболее часто используются различные математические модели, которые не всегда могут учесть характерные особенности конкретного полигона. Кроме того, существуют различные варианты проведения полевых исследований. Однако они предусматривают бурение нескольких скважин для сбора газа, отбор проб для дальнейшего лабораторного исследования, принудительный газоотбор с помощью газовых насосов в течение определенного периода (от нескольких часов до нескольких недель). Как показывает практика, между показателями пробных заборов газа и фактическим количеством газа, добытого впоследствии, возникают большие расхождения.

На наш взгляд, было бы целесообразно запустить пилотный проект утилизации метана на небольшом участке полигона Широкореченский с целью отработки технологии, получения опыта и оценки экономической целесообразности в использовании этого возобновляемого энергетического ресурса.

### *Библиографический список*

1. Шестакова Г.А., Логинов А.А., Зякун А.М., Лауринавичус К.С., Лыков И.Н. Проблема бактериального газообразования на полигонах твердых бытовых отходов и использования метана как источника энергии // Сотрудничество для решения проблемы отходов: Материалы 5-й Международной конференции (2-3 апреля 2008 г., Украина). Харьков, 2008.
2. Нефтегаз инжиниринг [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ngiproject.ru/>
3. Нефедьев Н.Б. Организационно-методические вопросы оценки количеств парниковых газов на российских полигонах ТБО // Коммерческое использование свалочного газа: Материалы международного семинара (28-29 мая 2007 г., Москва). М.: WasteTech, 2007. С. 40-44.

## **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТБО И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

*Белькова Ю.В., Соловьёва Е.С., Жиргалова Т.Б.  
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск  
pte@susu.ac.ru*

По оценкам специалистов, более 60 % городских отходов – это потенциальное вторичное сырье, которое можно переработать и с выгодой реализовать.

Еще около 30 % – это органические отходы, которые можно превратить в компост.

Проблема полного уничтожения или частичной утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) – бытового мусора – актуальна, прежде всего, с точки зрения отрицательного воздействия на окружающую среду. Твердые бытовые отходы – это богатый источник вторичных ресурсов (в том числе черных, цветных, редких и рассеянных металлов), а также «бесплатный» энергоноситель, так как бытовой мусор – возобновляемое углеродсодержащее энергетическое сырье для топливной энергетики.

Мусоросжигание – это наиболее сложный вариант утилизации отходов. Перед сжиганием необходимо предварительно обработать бытовые отходы. При разделении из отходов стараются удалить крупные предметы, металлы (как магнитные, так и немагнитные) и дополнительно их измельчить.

В основном мусоросжигательные заводы, оборудованные парогенераторами, включают:

- приемное отделение (предназначено для бытовых отходов), включает мостовой кран и ковш;
- мусоросжигательный агрегат с топочным устройством;
- тягодутьевое устройство, включает вентиляторы, дымосос, дымовую трубу;
- газоочистное устройство;
- парогенератор;
- сепаратор.

Изготовленное из бытовых отходов гранулированное топливо, в отличие от бытовых отходов, может дольше храниться и транспортироваться, практически не содержит металла, обладает меньшей влажностью и зольностью. Благодаря наличию в составе гранулированного топлива бумаги и картона оно обладает большой теплотворной способностью (около 3000 ккал/кг). В процессе переработки применяются грохоты и пневматические сепараторы, а полученные таким способом органические вещества применяются впоследствии для компостирования.

При сжигании в шлаковом расплаве начинается полное разложение вредных соединений, окисление горючих компонентов и происходит небольшое количество выброса пыли, которая поглощает испаряемую ртуть. Вследствие ртуть выбрасывается в атмосферу.

Метод плазменной газификации бытовых отходов отличается использованием сверхвысоких температур (2000...3200 °C). В процессе газификации бытовые отходы разжижаются и доходят до плазменного состояния.

При переработке мусора (рисунок) образуется высококалорийный синтез-газ, который используется для производства энергии в виде пара или горячей воды. Образовавшийся шлак применяется для строительных нужд (например, для строительства дорог).

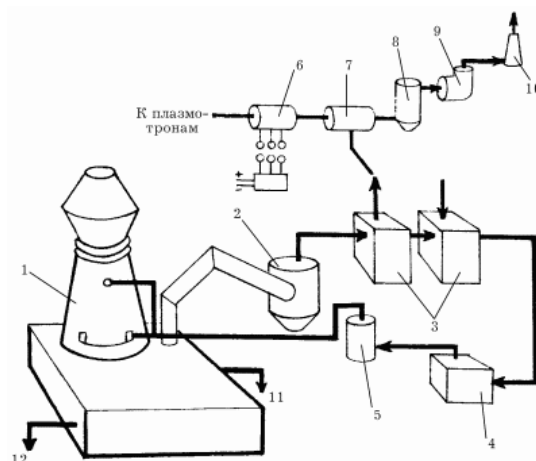


Схема плазменного способа переработки бытовых отходов:

- 1 – печь; 2 – циклон; 3 – теплообменники; 4 – компрессор; 5 – ресивер; 6 – электрогенератор;  
 7 – газотурбинный двигатель; 8 – скруббер; 9 – дымосос; 10 – дымовая труба;  
 11 – выход жидкого шлака; 12 – выход жидкого металла

Метод плазменной газификации, так же как и сжигание в шлаковом расплаве, очень энергоемкий. Это дорогостоящий метод утилизации бытовых отходов, который не обеспечивает экологическую безопасность.

Пиролиз представляет собой процесс разложения органических соединений под действием высоких температур при отсутствии или недостатке кислорода. Этот метод считается намного безопаснее сжигания. В процессе пиролиза получается газообразное вещество, которое впоследствии используется в энергетике или других отраслях промышленности. Это трудоемкий процесс. Трудности возникают при хранении и транспортировке полученного продукта, а также при регулировании самого процесса.

Посредством переработки бытовых отходов в анаэробных условиях получают горючий газ и органическое удобрение. Выпуская 8000 т бытовых отходов в год, завод обслуживает около 25 тыс. человек.

Бытовые отходы сваливают в приемный бункер, оттуда они через питатель поступают в дробилку. Проходя через ленточный конвейер, измельченные бытовые отходы очищаются от черного металла. Очищенная масса поступает на несколько суток в метантенк, в котором происходит сбраживание органического вещества. Из тонны бытовых отходов выделяется около 170 кг ( $130 \text{ м}^3$ ) газа, который содержит:

- метан (65 %);
- органическое удобрение (410 кг, влажность 30 %);
- металлолом (50 кг);
- крупный отсев (250 кг);
- газовые потери и фильтрат (120 кг).

Вместе с бытовыми отходами завод перерабатывает сельскохозяйственные отходы и отходы пищевой промышленности.

Новый метод в решении проблемы утилизации бытовых отходов – это их брикетирование. Оно представляет собой простейшую и экономичную форму упаковки. В процессе переработки происходит уплотнение бытовых отходов, что приводит к уменьшению их объема. Это, в свою очередь, экономит средства, выделяемые для хранения и транспортировки мусора.

Посредством гидролиза из целлюлозы можно получить этиловый спирт (этанол). Бытовые отходы предварительно измельчаются и поступают в сепаратор, где происходит их разделение на легкие и тяжелые фракции. Легкая часть, состоящая преимущественно из целлюлозы, еще раз измельчается и поступает в реактор, где и происходит гидролиз.

Технология очистки медицинских отходов стерилизует такие виды медицинских отходов, как иглы, ланцеты, медицинские контейнеры, металлические зонды, стекло, биологические культуры, физиологические вещества, медикаменты, шприцы, фильтры, пузырьки, подгузники, катетеры, лабораторные отходы и т.д. Технология очистки медицинских отходов измельчает и стерилизует отходы, так что они превращаются в сухую, однородную пыль без запаха (гранулы диаметром 1...2 мм). Этот остаток является целиком инертным продуктом, не содержит микроорганизмов и не обладает бактерицидными свойствами. Остаток может быть утилизирован как обычные городские отходы или использован при ландшафтных работах.

Под полигоны и свалки ТБО ежегодно отчуждается около 10 тыс. га пригодных для использования земель, не считая площади земель, загрязняемых многочисленными несанкционированными свалками. Неиспользуемые отходы – это миллиарды тонн выведенных из хозяйственного оборота безвозвратно теряемых материальных ресурсов, многими видами которых страна практически уже не располагает. Приведенные цифры позволяют рассматривать ТБО как ценнейший источник сырья для производства строительных материалов и изделий. Современные технологии сбора и разделения ТБО уже позволяют использовать макулатуру, стекольный бой и отходы стекла, тряпье, изношенные шины для выпуска полезного продукта. При этом получают наполнитель для асфальтов, добавки при производстве стеновой керамики, стекло, пористые заполнители для бетонов, кровельный картон, изол, фольгоизол, различные теплоизоляционные материалы и т.д. За рубежом вопросу сбора и переработки промышленных и бытовых отходов уделяется огромное внимание. В настоящее время в России проводится также огромное количество работ, посвященных вопросам утилизации и переработки ТБО и промышленных отходов, что позволит обеспечить значительное энергоресурсосбережение.

## ГЕНЕРАТОРНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Бельский А.А., Абрамович Б.Н.

Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова

(технический университет)

rem\_white@mail.ru

В России ведутся работы по созданию ветроэлектрических установок (ВЭУ) номинальной мощностью свыше 100 кВт с горизонтальной осью вращения ветроколеса. В такой установке могут применяться три типа генераторов: Асинхронные генераторы с короткозамкнутым ротором (АГКЗР); синхронные генераторы с преобразователем частоты (СПЧ); синхронные генераторы непосредственного привода (СГНП); асинхронные генераторы двойного питания (АМДП).

Для работы АГКЗР требуется ветродвигатель с постоянной частотой вращения ветроколеса. Данная схема имеет ряд преимуществ: простую и дешевую конструкцию генератора, не требующую обслуживания, но из-за постоянной частоты вращения ветроколеса (изменения не больше 1-2 %) теряется значительное количество энергии ветра.

Наиболее перспективным направлением повышения эффективности ВЭУ представляется использование в них генераторов, работающих с переменной частотой вращения и поддержанием постоянной выходной мощности при скоростях ветра выше номинальных, с помощью системы, изменяющей угол атаки, поворотом лопасти вдоль оси маха в зависимости от скорости ветра. В качестве генератора, работающего с переменной частотой вращения в ВЭУ, могут использоваться асинхронная машина двойного питания (АМДП) или синхронный генератор (СГ). Для связи с сетью в ВЭУ с СГ применяется преобразователь частоты в цепи статора, на полную мощность генератора, а с АМДП - преобразователь частоты с непосредственной связью - в цепи ротора, на мощность, сниженную кратно частоте скольжения относительно сети.

Для исследования работы ВЭУ с различными типами генераторов нами была разработана математическая модель, в которой производится аппроксимация двумя полиномами 4-ой степени отвлеченной аэродинамической характеристики (рис. 1):

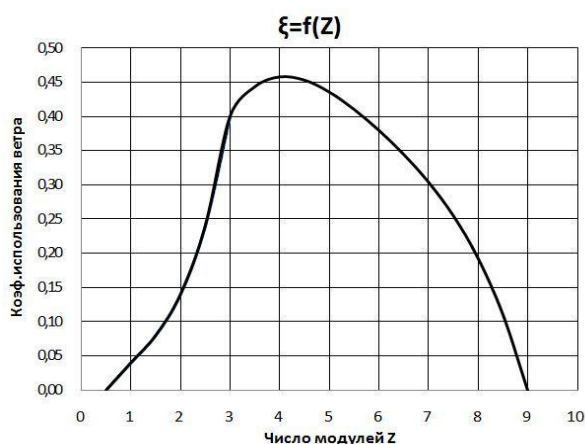


Рис. 1

$$Z = \omega R / V, \quad (1)$$

где  $Z$  – число модулей;  $\omega$  – угловая скорость (1/с);  $R$  – радиус лопасти (м);  $V$  – скорость ветра (м/с).

Далее с помощью формул (2, 3) происходит переход от отвлеченной аэродинамической характеристики к размерной рабочей характеристике ветродвигателя  $P_B=f(n, V)$  в виде зависимости мощности на валу ветроколеса  $P_B$  от частоты его оборотов  $n$  при различных скоростях ветра  $V$ .

$$n = (30Zv/\pi R) \cdot k_m \quad (2)$$

где  $n$  – количество оборотов на валу мультипликатора (об/мин),  $Z$  – число модулей,  $v$  – скорость ветра (м/с),  $R$  – радиус ветроколеса (м),  $k$  – передаточное число мультипликатора;

$$P_g = 0,5 \cdot \pi (R^2 - r^2) \rho v^3 \xi \cdot 10^{-3} \cdot \eta_m, \quad (3)$$

где  $P_g$  – мощность на валу мультипликатора (кВт),  $R$  – радиус ветроколеса (м),  $r$  – радиус ступицы ветроколеса (м),  $\rho$  – плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>),  $v$  – скорость ветра (м/с),  $\xi$  – коэффициент использования энергии ветра,  $\eta_m$  – КПД мультипликатора.

За счет совмещения рабочих характеристик различных типов генераторов с характеристикой ветродвигателя строятся рабочие характеристики ВЭУ  $P=f(V)$  в виде зависимости мощности на выходе с генератора  $P$  от скорости ветра  $V$ .

С помощью разработанной математической модели были построены рабочие характеристики (рис. 2) и зависимости коэффициента использования установленной мощности ВЭУ от среднегодовой скорости ветра (рис. 3) для ВЭУ с различными типами генераторов и способами регулирования мощности: ВЭУ с двумя взаимосвязанными асинхронными генераторами и регулированием мощности за счет срыва воздушного потока с поверхности лопасти – типовая конструкция ВЭУ; ВЭУ с двумя взаимосвязанными асинхронными генераторами и системой поворота лопасти для регулирования мощности; ВЭУ с асинхронной машины двойного питания и системой поворота лопасти для ограничения мощности; ВЭУ с синхронным генератором с преобразователем частоты и системой поворота лопасти для ограничения мощности.

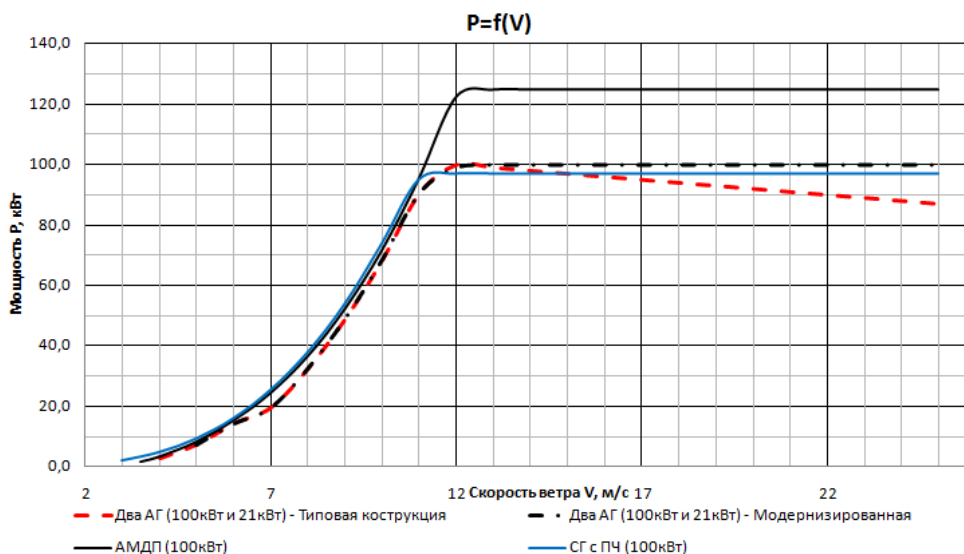


Рис. 2.

Математическая модель позволяет не только строить рабочие характеристики выходной мощности ВЭУ от скорости ветра, но и получать данные о количестве выработанной электрической энергии и значения коэффициента использования установленной мощности в зависимости от различных факторов (диаметра ветроколеса, среднегодовой скорости ветра, типа генератора электрической энергии, типа мультипликатора, конструктивных параметров лопасти, способа регулирования мощности при скорости ветра больше номинальной).

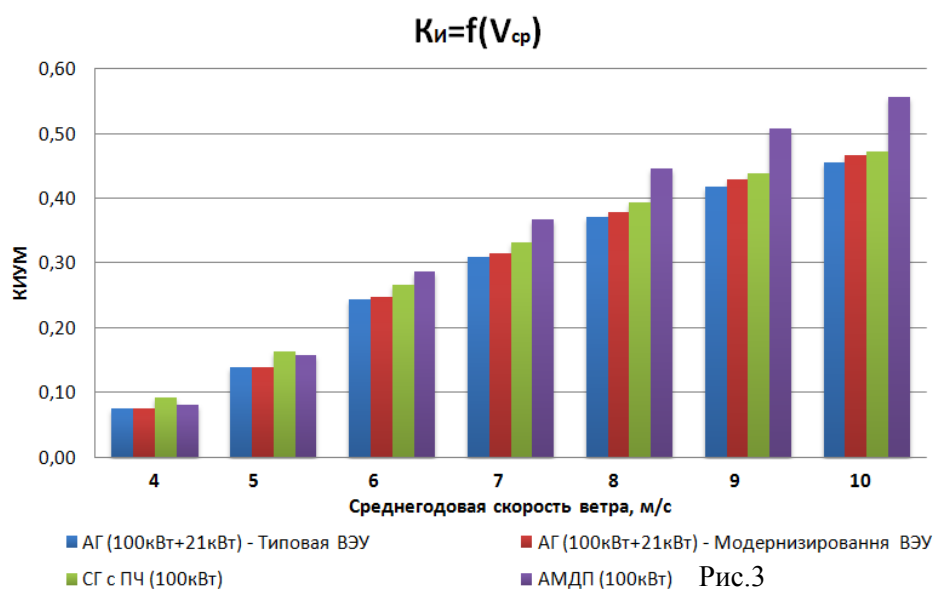


Рис. 3.

Применение в качестве генератора в ВЭУ АМДП вместо АГКЗР позволяет увеличить количество электроэнергии, вырабатываемое ВЭУ на 8...10 % при любых среднегодовых скоростях ветра, а также уменьшает минимальную скорость ветра, при которой начинается отдача энергии в сеть.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО УРАЛА

Берг И.А.  
УрФУ  
berg77777@gmail.com

Охрана окружающей среды является одной из важнейших проблем, стоящих перед человечеством. Решением ее занимаются специалисты различных отраслей науки и сфер производства. В обобщенном виде все пути решения экологических проблем сводятся к двум направлениям: во-первых, исправление допущенных нарушений в различных аспектах (создание очистных сооружений, занесение редких видов растений и животных в Красную книгу и др.), во-вторых, внедрение новых технологий, позволяющих сохранять природные ресурсы или хотя бы уменьшать их расход.



Одной из постоянных существенных потребностей человечества является потребность в горячей воде. Горячая вода используется в двух основных целях: для отопления и горячего водоснабжения. Экономичным и безопасным для природы способом нагревания воды для обеспечения горячего водоснабжения в небольшом объёме является использование энергии Солнца. Солнечное излучение может быть преобразовано в теплоту горячей воды с помощью специального устройства – солнечного коллектора. Первый солнечный коллектор был запатентован в США в 1905 году.

Позже коллекторы усложнялись, в их конструкции включались дополнительные приспособления, вследствие чего они получались более функциональными. В настоящее время существуют различные системы агрегатов, в состав которых входит солнечный коллектор, именуемые солнечными нагревателями.

Солнечный нагреватель (рис. 1) состоит из коллектора и бака - аккумулятора горячей воды, связанных друг с другом циркуляционными трубами (шлангами). При необходимости получать воду определённой температуры устройство может иметь дополнительный бак с холодной водой (для смешивания с горячей).

Бытует мнение (даже среди инженеров – теплоэнергетиков), что солнечные нагреватели воды могут использоваться только в регионах с тёплым климатом. Однако, известные выражения [1] для расчёта теплоты, передаваемой лучистым теплообменом (от солнца с температурой около 6000 К), показывают, что её величина определяется только разницей четвёртых степеней температур Солнца и поверхности нагрева и их характеристиками. В это выражение не входят характеристики климата, окружающего Землю.

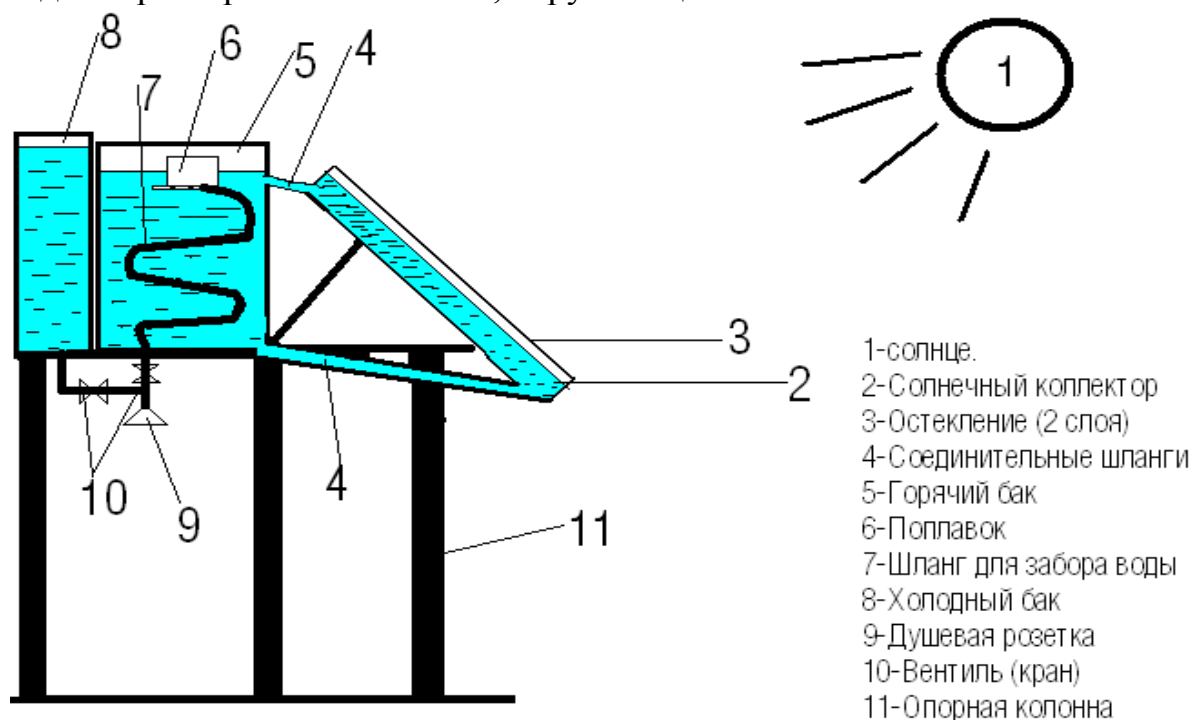


Рис. 1.



Отсюда следует весьма важный вывод: если атмосфера Земли для солнечных лучей прозрачна, то солнечные нагреватели могут эффективно работать как в зонах африканских пустынь, так и в зонах вечной мерзлоты Сибири. Не должно быть никаких региональных ограничений при использовании этих устройств – будь то Казахстан или Средний Урал – светило бы Солнце.

С целью проверки возможностей использования солнечного нагревателя в зоне Екатеринбурга, 10.07.2010 нами были выполнены испытания опытного образца, конструкция которого приведена на рис. 1, а некоторые результаты этих испытаний – на рис. 2.

Площадь тепловоспринимающей поверхности (неподвижного коллектора) испытуемого солнечного нагревателя составила  $1,65 \text{ м}^2$ , угол наклона к горизонту – 60 градусов, объём бака – аккумулятора – 200 л.

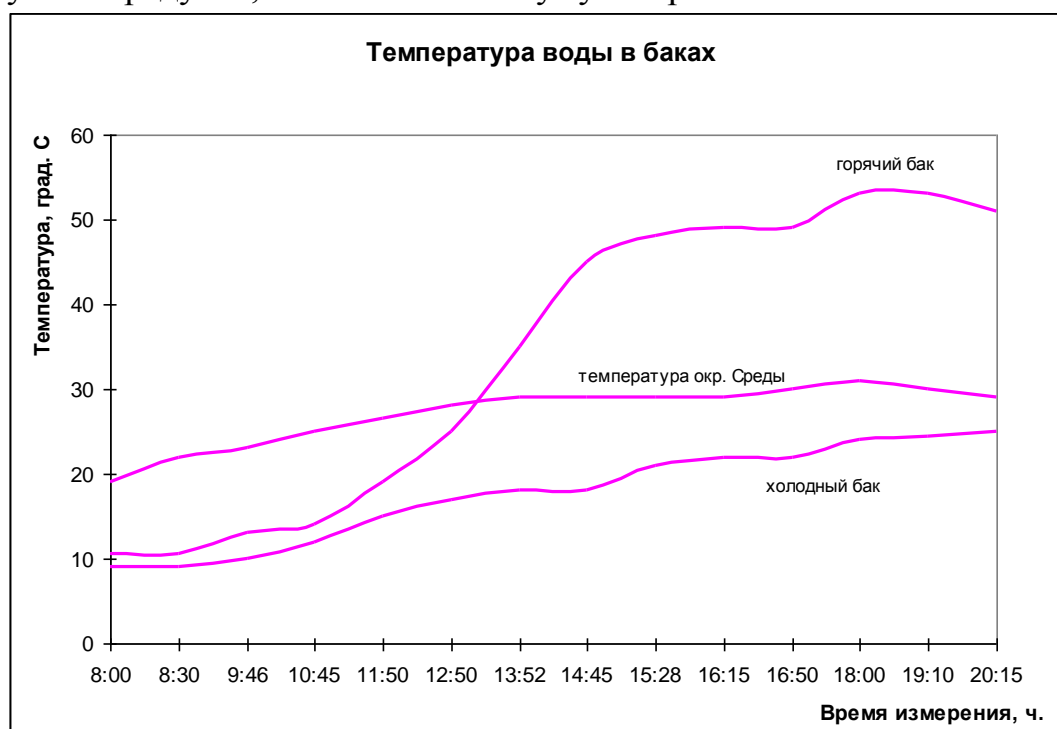


Рис. 2.

В ходе исследований была также замерена температура воды в «холодном баке». Изначально вода из скважины заливалась в оба бака с одинаковой температурой (около  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Приводимые графики (рис. 2) позволяют сделать четкий вывод: использование солнечных нагревателей воды с положительным эффектом возможно даже в условиях климатической зоны Среднего Урала.

Выполненные параллельно с описанными исследованиями сравнительные измерения при использовании нагревателя другой конструкции – с подвижным коллектором, позволяющим направлять его перпендикулярно солнечным лучам в течение всего светового дня, – показали его эффективность много более высокую, чем в первом (описанном) варианте.

#### *Библиографический список*

1. Теплотехника / Под ред. А.П. Баскакова. М.: Басет, 2010.

## ТВЁРДООКСИДНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ – БУДУЩЕЕ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ

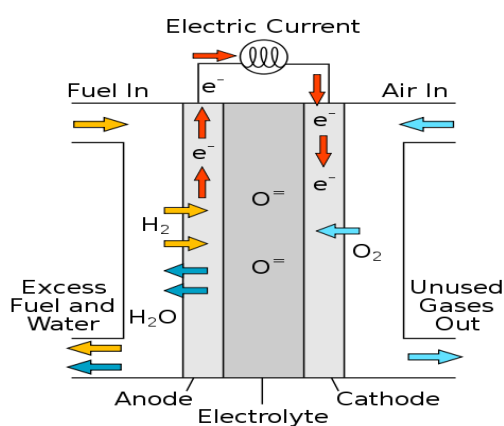
Бойкачёв Е.Д. Попов А.И.  
УрФУ

В ближайшее время энергетику ждут глобальные технологические перемены. Западные специалисты прогнозируют, что к 2025 году 30 % всей производимой в мире электроэнергии будет приходиться на энергоустановки, использующие твёрдооксидные топливные элементы (ТОТЭ). В апреле этого года американская компания «Bloom Energy Corporation» успешно начала продажи 100 кВт установок данного типа по очень высокой цене более \$7000 за 1 кВт установленной мощности при себестоимости в \$700 за 1 кВт.

Существуют различные типы топливных элементов. Они классифицируются по используемому топливу, рабочему давлению и температуре, по типу электролита и характеру применения.

ТОТЭ по международной терминологии – SOFC (Solid Oxide Fuel Cells), являются наиболее привлекательными для использования в энергоустановках из-за высокой эффективности прямого преобразования химической энергии топлива в электричество. Их КПД достигает 70 %, а с учётом использования высокопотенциальной тепловой энергии – 90 %. ТОТЭ эффективно работают при высоких рабочих температурах – 700...950 °С, поэтому скорость протекания электродных реакций достаточно высока, чтобы не применять дорогостоящие катализаторы. При этом топливом могут служить любые углеводороды, а окислителем – воздух. Для работы других типов топливных элементов необходимы высокоочищенные компоненты - водород и кислород с большой степенью чистоты.

Основным компонентом ТОТЭ является твёрдый электролит, который проводит ток благодаря переносу ионов кислорода. В основном в качестве твёрдого электролита используют керамику на основе  $ZrO_2$ . С противоположных сторон электролита расположены электроды. На одном из электродов (катоде) кислород воздуха ионизируется, проходит в виде иона  $O^{2-}$  через кристаллическую решётку электролита, а затем на другом электроде (аноде) окисляет топливо.



Поскольку все компоненты ТОТЭ находятся в твёрдом состоянии, существует большое разнообразие конструкций самих элементов. По физическому объёму ТОТЭ может конструироваться в соотношении 1 см<sup>3</sup> – 1 кВт. Преимущество твёрдого состояния единичного элемента так же ведёт к многообразию конструкций стеков батарей и энергоустановок, что позволяет оптимизировать устройство по важным для заказчика требованиям: размер,

масса, рабочая температура, конструкционные материалы, мощности и срок службы.

Существующая централизованная система энергоснабжения, при которой один источник обеспечивает тысячи потребителей электроэнергией, имеет низкий КПД. КПД преобразования химической энергии топлива в электрическую на традиционных станциях не превышает 35 %. Передача электроэнергии на большие расстояния приводит к значительным потерям мощности и снижению суммарного КПД системы. Сегодня есть возможность создания распределённой энергетики на основе новой технологической базы – твёрдооксидных топливных элементах. Распределённая энергетика предполагает расположение генераторов электроэнергии непосредственно у потребителей, к которым по трубопроводу подаётся топливо – водород или водородосодержащий газ. При этом потребитель сжигает топливо в соответствии с собственным графиком энергопотребления, что приводит к экономному использованию топлива и энергосбережению. Такая энергетика позволит гибко регулировать производство электроэнергии на месте потребления, обеспечивая достаточные мощности, сокращать издержки при транспортировке и производстве электроэнергии, обеспечивать высокую экологичность. На первом этапе перехода к распределённой энергетике в качестве топлива для ТОТЭ будет использоваться природный газ, продукты газификации угля и жидких углеводородных топлив из нефтепродуктов. На втором этапе будет использоваться водород и переработанные отходы деятельности человека, сельскохозяйственные и промышленные отходы. Учитывая, что по физическому объёму ТОТЭ можно изготавливать в соотношении  $1 \text{ см}^3 - 1 \text{ кВт}$ , то очевидно их использование в силовых установках на железнодорожном и водном транспорте.

Несколько ведущих компаний США, Европы и Японии готовят промышленное производство энергоустановок на ТОТЭ различного назначения. Таким образом, формируется новая отрасль экономики – разработка и производство энергоустановок на основе ТОТЭ. В свою очередь, развитие новой отрасли потребует подготовки большого количества специалистов в области разработки различных энергоустановок данного типа.

В России в настоящее время нет Государственной Программы по водородной энергетике, в которую обязательно входили бы наиболее перспективные твёрдооксидные топливные элементы. Необходимо отметить, что уровень российских технологических разработок в области устройств на базе высокотемпературных топливных элементов сейчас соответствует, а в чём-то даже выше, чем у зарубежных фирм. Российские конструкторы провели весь комплекс фундаментальных исследований ещё 15–20 лет назад.

На Урале была создана довольно сильная научно-технологическая школа мирового уровня по энергоустановкам на ТОТЭ. Начиная с середины 90-х годов прошлого века, в Институте электрофизики УрО РАН (ИЕФ, г. Екатеринбург) начались разработки технологий и оборудования для получения уникальных слабо агрегированных нанопорошков YSZ и нанопорошков материалов, используемых в электродах ТОТЭ.

К сегодняшнему дню уже имеются технологии и установки для получения всех необходимых компонентов ТОТЭ. С использованием нанотехнологий разработаны высокоэффективные ТОТЭ и батареи. Разработаны энергосистемы на ТОТЭ. Сформировано керамическое производство для промышленного выпуска ТОТЭ.

27 мая 2010 г. в г. Миассе состоялся совет Главных конструкторов предприятий ОПК Уральского региона, на котором была отмечена важность и необходимость продолжения работ по электрохимическим генераторам на основе ТОТЭ. Было решено, что ядро кластера целесообразно формировать на территории Свердловской области, где накоплен огромный научно – технический задел по этой теме. УрФУ может сыграть важную роль в появлении новой инновационной отрасли экономики. Сюда входит и разработка энергоустановок на основе ТОТЭ, и подготовка специалистов в области производства и эксплуатации ТОТЭ.

## ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМЫЙ ОХРАННЫЙ КОМПЛЕКС

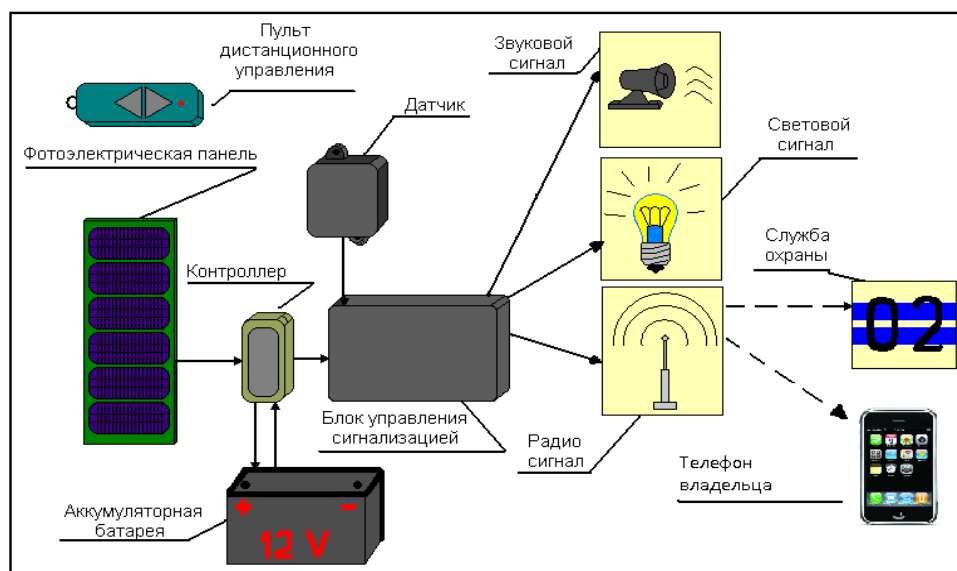
*Бушланов В.С., Немихин Ю.Е., Серкова Е.В., Щеклеин С.Е.*

*УрФУ*

*nemikhin@rambler.ru*

Проблема охраны объектов усложняется в местах, удаленных от линий электропередач, где невозможно подключение к обычной сети.

Для решения проблемы был специально разработан энергонезависимый охранный комплекс (рисунок), работающий от солнечной батареи.



Энергонезависимый охранный комплекс предназначен для обеспечения безопасности объектов, удаленных от электрической сети, а также для своевременного оповещения владельца имущества о случившейся тревожной ситуации. Установка является автономной системой, использующей в качестве ис-

точника энергии - энергию солнца. В системе используются гелевые аккумуляторы, которые обеспечивают работу в ночное время. Солнечная фотоэлектрическая панель используется для зарядки аккумуляторов.

Технические характеристики:

Рабочее напряжение	9...15 В
Ток потребления в дежурном режиме: не более	16 мА
Ток потребления в режиме тревоги	не более 20 мА
Мощность фотоэлектрической панели	2...20 Вт
Время работы в отсутствии освещения	350 ч
Переполюсовка имеет защиту.	

Применение энергонезависимого охранного комплекса не только обеспечивает надежную защиту объектов, но и позволяет экономить углеводородные ресурсы.

## ПАРУСНЫЕ ВЕТРЯКИ ИМЕЮТ МЕСТО БЫТЬ

*Дурицкий М.В., Попов А.И.,  
УрФУ*

В ветроэнергетике в настоящее время наблюдается большое разнообразие конструкций установок с горизонтальной и вертикальной осями вращения ветроколеса (ВК). Наиболее массово на рынке представлены ВК пропеллерного типа с лопастями аэродинамического профиля и – ВК с лопастями по образцу самолетного крыла в установках по схеме ротора Дарье.

Любые типы существующих ВК являются наиболее дорогими узлами ветроэнергетических установок (ВЭУ). Стоимость их составляет от 15 до 28 % от суммарной стоимости всего энергетического комплекса.

Кроме того, технология их изготовления достаточно сложна, поэтому владелец ВЭУ не в состоянии самостоятельно произвести ремонт и тем более, изготовление такого рода лопастей. Особенно это актуально для удаленных потребителей, лишенных централизованных энергетических сетей, и использующих ветроустановки в автономном режиме.

Проблему снижения стоимости ВЭУ и проблему изготовления лопастей, в том числе в кустарных условиях, можно решить путем замены пропеллерных лопастей и лопастей по типу самолетного крыла на парусные лопасти.

По сравнению с лопастями пропеллерных ветроагрегатов, парусные лопасти проще в изготовлении, эксплуатации и ремонте. У паруса есть одна важная особенность, которой нет у классической лопасти. Парус практически мгновенно подстраивается под силу и направление ветра, что обеспечивает возможность работы парусного ветрогенератора в широком диапазоне скоростей ветра, от самых малых до буревых (50...60 м/с). Так как паруса располагаются по периферии ветроколеса, то даже при слабом ветре такое ветроколесо передает на ось электрогенератора заметную мощность, тогда как сечение лопасти у про-

пеллерного ветряка уменьшается от центра к периферии, поэтому пропеллерные ветряки, не способны утилизировать слабый ветер.

Начальная скорость работы парусного ветрогенератора начинается (в зависимости от конструкции) от 2,5 до 5 м/с. Величина момента на валу и коэффициент использования энергии ветра у парусных ВК схожи с крыльчатыми многолопастными ВК, так величина относительного момента  $M > 0,2$ , а коэффициент использования  $\sigma \approx 0,25$ . Парусные ВК тихоходные с быстроходностью  $Z < 2$ .

В принудительной раскрутке парусный ветроагрегат не нуждается. Ткань паруса очень гибко «подстраивается» под любой ветер, что позволяет извлекать из ветра энергию с минимальными потерями без применения специальной системы управления. При большом радиусе парусного ВК ему не страшны неравномерности в скорости ветра по высоте, так как каждый парус, работая на общую ось, сам подстраивается под силу и направление локального воздушного потока. Кроме того, в ряде работ утверждается, что паруса в «рабочем» состоянии создают между собой систему воздушных каналов, воздух в которых перенаправляется в таком направлении, что обеспечивается увеличение мощности ВК, в том числе за счет эффекта присоединенных масс, так как увеличение скорости воздуха между парусами приводит к падению давления между ними, а значит, в эти зоны будут устремляться воздушные потоки, «пролетающие» рядом с ветроколесом. Таким образом, эффективная площадь сечения воздушного потока, которая будет формировать итоговую мощность ВЭУ, несколько больше ометаемого парусником сечения, если брать в расчет диаметр колеса.

Масса парусного ВК из-за использования в нем легких материалов в целом значительно ниже, чем у пропеллерных ВК той же мощности, следовательно, парусные ВК обладают меньшей инерционностью. Это дает им преимущество в ориентировании по ветру при частых изменениях направления ветра на местности, а так же высокую мобильность.

Таким образом, можно выделить основные преимущества парусных ветроагрегатов над пропеллерными:

1. Низкая рабочая скорость безопасная для птиц и насекомых, например, пчел.
2. Отсутствие шумовых инфразвуков по сравнению с пропеллерными ВЭУ.
3. Малая материалоемкость, высокая мобильность.
4. Простота конструкции, высокая ремонтпригодность, доступность для самостоятельного изготовления.
5. Дешевизна установки по сравнению с конкурирующими с ней пропеллерными и ортогональными установками.
6. Компактность, безопасность, и упрощение монтажа и обслуживания.
7. Доступность для широкого применения.

Сотрудниками кафедры «Атомная энергетика» и Центра возобновляемой энергетики УРФУ разработан ряд ветроэнергетических установок подобного типа. Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что применение па-

русных ветрогенераторов экономически целесообразно и технически осуществимо в крупномасштабных объемах в малой ветроэнергетике.

#### *Библиографический список*

1. Войцеховский Б.В. Микромодульная ветроэнергетика. Новосибирск: Институт гидродинамики СО РАН, 1995.
2. Пат. РФ № 2006669 Ветроколесо / Коков Б.С.; 01.11.91.
3. Пат. РФ № 89182 Ветроколесо для ветродвигателя с регулированием парусности; 13.05.2009.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕЛЯХ ЭКОНОМИИ РЕСУРСОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА**

*Житцова Д.А., Лебедева Е.А.*

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

*dasha-zhitcova@yandex.ru*

В соответствии с «Энергетической стратегией России до 2020 года» основная задача специалистов в области энергетики – повышение технологической и экологической эффективности энергетических систем за счет эффективного использования местных видов топлива и нетрадиционных (возобновляемых) источников энергии.

Основными причинами, побудившими человечество всерьез заняться освоением возобновляемых источников энергии, являются:

- климатические изменения, обусловленные увеличением содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере;
- сильная зависимость многих развитых стран, особенно европейских, от импорта топлива;
- ограниченность запасов органического топлива на Земле.

Подписание Киотского протокола большинством развитых стран мира привело к ускоренному развитию технологий, способствующих сокращению выбросов  $\text{CO}_2$  в окружающую среду, тем более что квоты на выброс парниковых газов стали товаром, имеющим вполне реальную стоимость.

Одной из технологий, позволяющей снизить расход органического топлива и уменьшить выбросы  $\text{CO}_2$ , является производство низкопотенциального тепла для систем горячего водоснабжения, отопления, кондиционирования воздуха, технологических нужд за счет солнечной энергии.

В настоящее время более 40 % выработанной энергии приходится на покрытие именно этих потребностей, и потому использование энергии солнца (в первую очередь сезонное) является наиболее экономически приемлемым вариантом для практического использования.

Основным компонентом любой солнечной системы теплоснабжения является солнечный коллектор. В нем происходит преобразование солнечной энергии в тепло, и от него зависит эффективность работы всей системы солнечного теплоснабжения, а также ее экономические показатели.

Доказано, что гелиосистемы позволяют ежегодно экономить традиционное топливо:

- до 75 % - для горячего водоснабжения при круглогодичном использовании;
- до 95 % - для горячего водоснабжения при сезонном использовании;
- до 50 % - для целей отопления;
- до 80 % - для целей дежурного отопления.

Наиболее целесообразно использование малых систем солнечного теплоснабжения жилых домов с целью высвобождения мощностей котельных и экономии органического топлива.

Малые системы солнечного теплоснабжения включают в себя коллекторы общей площадью 2...8 м<sup>2</sup>, бак-аккумулятор, емкость которого определяется площадью используемых коллекторов, циркуляционный насос (в зависимости от типа тепловой схемы) и другое вспомогательное оборудование.

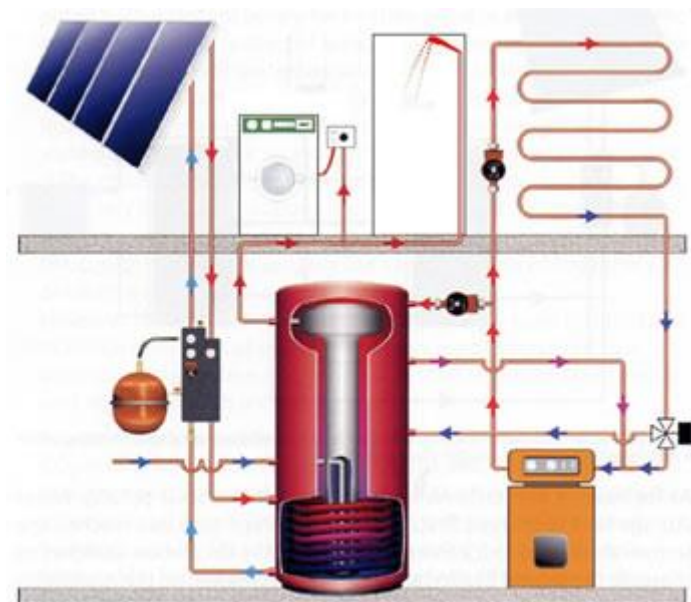
В небольших системах циркуляция теплоносителя между коллектором и баком-аккумулятором может осуществляться без насоса за счет естественной конвекции (термосифонный принцип). В этом случае бак-аккумулятор должен располагаться выше коллектора. Простейшим типом таких установок является коллектор, спаренный с баком-аккумулятором, расположенным на верхнем торце коллектора. Обычно такие системы используются для нужд горячего водоснабжения в небольших односемейных домах коттеджного типа.

Солнечные коллекторы бывают двух типов: плоский и вакуумный. Несмотря на довольно высокий КПД вакуумного коллектора, стоимость его значительно выше плоского. Поэтому чаще именно плоские солнечные коллекторы используются в малых системах солнечного теплоснабжения.

Плоский солнечный коллектор состоит из корпуса, прозрачного ограждения, абсорбера и тепловой изоляции. Корпус является основной несущей конструкцией, прозрачное ограждение пропускает солнечную радиацию внутрь коллектора, защищает абсорбер от воздействия внешней среды и уменьшает тепловые потери с лицевой стороны коллектора. Абсорбер поглощает солнечную радиацию и по трубкам, соединенным с его теплоприемной поверхностью, передает тепло теплоносителю. Тепловая изоляция уменьшает тепловые потери с тыльной и боковой поверхностей коллектора. Теплоприемная поверхность абсорбера имеет селективное покрытие, имеющее высокий коэффициент поглощения в видимой и ближней инфракрасной области солнечного спектра и низкий коэффициент излучения в области спектра соответствующего рабочим температурам коллектора. У лучших современных коллекторов КПД в области рабочих температур типичных для систем теплоснабжения превышает 50 %.

На рисунке показан пример активной системы большого размера, в которой бак-аккумулятор расположен ниже коллекторов, и циркуляция теплоносителя осуществляется с помощью насоса. Такие системы используются для нужд горячего водоснабжения и отопления. Как правило, в активных системах, участвующих в покрытии части нагрузки отопления, предусматривается дублирующий источник тепла, использующий электроэнергию или газ.





### *Библиографический список*

1. Бутузов В. А. Солнечное теплоснабжение в России // Энергетическая политика. 2005. № 3.
2. Бутузов В.А. Анализ опыта проектирования и эксплуатации гелиоустановок горячего водоснабжения // Сборник трудов АВОК, 26–29 мая 1998. СПб.: АВОК, 1998.
3. ГОСТ 28310-89. Коллекторы солнечные. Общие технические условия. М.: Госстандарт, 1989.
4. ВСН 52-86. Нормы проектирования. Установки солнечного горячего водоснабжения. Госгражданстрой СССР. М., 1987.
5. Рекомендация по проектированию установок солнечного горячего водоснабжения для жилых и общественных зданий.
6. Бутузов В.А. Анализ опыта проектирования и эксплуатации гелиоустановок горячего водоснабжения // Энергосбережение на Кубани: Сборник. Краснодар: Советская Кубань, 1999.
7. Интернет-ресурсы: [www.solarhome.ru](http://www.solarhome.ru), [www.rosteplo.ru](http://www.rosteplo.ru), [www.abok.ru](http://www.abok.ru).

## **СВЕТОДИОДНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМА С СИСТЕМОЙ «ФЭП-АККУМУЛЯТОР»**

*Завьялов А.А., Банных С.М., Велькин В.И., Щеклеин С.Е.*

*УрФУ*

*[aes1@mail.ustu.ru](mailto:aes1@mail.ustu.ru)*

«Энергоэффективный дом» в пос. Растущий, Белоярского района Свердловской области сдан в эксплуатацию в декабре 2005 г.. Он имеет централизованное энергоснабжение, газ, спутниковое телевидение, охранную сигнализацию, современную систему канализации с очистными сооружениями, дренажное поле, декоративный пруд, альпийские горки (рис. 1.).

Оснащение дома нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии продолжается до настоящего времени и, по-видимому, не имеет срока окончания: каждый год жильцы совершенствуют функционирующие и внедряют новые разработки.

Для распространения опыта указанного объекта и его демонстрации на выставках студентами кафедры в рамках УИРС был разработан и создан макет «Энергоэффективного дома» в масштабе 1:40. В макете соблюдены основные пропорции и планировочные решения здания (рис. 2).



Рис. 1. Вид на «Энергоэффективный дом»



Рис. 2. Макет «Энергоэффективного дома»

В настоящее время макет дома дополнен блоком контроля и управления солнечными фотоэлектрическими преобразователями. В составе блока: вольтметр, амперметр, контроллер, переключатели бытовых нагрузок.

Макет и блок управления позволяют осуществлять демонстрацию возможностей ФЭП, функционирующих от имитатора солнечного потока – 4-х направленных ламп. При этом от одной ФЭП пиковой мощностью 30 Вт подключается освещение каждой из 8 квартир макета, декоративный фонтан, мини-телевизор ( $V = 12\text{ В}$ ) и светодиодное освещение территории.

Реальное светодиодное освещение разделено на 3 участка:

Основной участок из 18 LED-светильников GLOBE-LED 21, мощностью 2,1 Вт со стандартным цоколем E27, установленных с фасадной стороны и запитанных от сети 220 В. Замена люминесцентных энергосберегающих ламп (мощностью по 16 Вт) на светодиодные позволила экономить в год до 2000 руб., что фактически за 1,5 года окупило затраты на их приобретение (рис. 3).



Рис. 3. Освещение территории «Энергоэффективного дома» LED – светильниками

Второй и третий участки светодиодного освещения независимы между собой и имеют по 5 LED-светильников.

Один из участков запитан от системы ФЭП-аккумулятор с непосредственной подачей постоянного напряжения 12 В, а второй – с такой же системой, но через инвертирование: на светодиоды подается напряжение 220 В.

Анализ эксплуатации светодиодного освещения на объекте показал:

1. Светодиодное освещение создает существенную экономию потребителю.
2. Использование LED-светильников делает в условиях Уральского региона экономически оправданной систему «ФЭП-аккумулятор», так как позволяет нерегулярную подзарядку аккумуляторов ввиду малого энергопотребления.
3. Использование напряжения 12 В для системы требует применения кабелей большего диаметра и малой длины для избегания потерь и надежности аккумуляторного энергообеспечения небольшой (бытовой) емкости.

3. Применение инвертора малой мощности (до 0,5 кВт) снижает энергетический запас (емкость) аккумуляторной батареи на 25...30 % и, соответственно, продолжительность функционирования системы освещения в случае продолжительного отсутствия инсоляции.

4. Для системы с большой емкостью аккумуляторов и средней мощностью инвертора (2...8 кВт) потери на инвертирование снижаются до 10...15 %.

5. Потребитель, использующий светодиодное освещение, может полностью отказаться от оплаты централизованному поставщику энергии, перейдя на автономное освещение территории с использованием фотоэлектрических панелей и аккумуляторов.

## МИНИ-ТЭЦ НА БАЗЕ ДВУХЗОННОГО УГОЛЬНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА С ПСЕВДООЖИЖЕННЫМ СЛОЕМ

*Иконников И.С., Дубинин А.М., Тупоногов В.Г., Черепанова Е.В.*  
УрФУ

*ikonnikov.ustu@mail.ru*

Развитие малой энергетики на базе газопоршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) представляется крайне важным для районов автономного или ненадежного централизованного энергоснабжения. Источники энергии, работающие на дешевом местном топливе, позволят исключить северный завоз и

без того дорогого дизтоплива. В настоящее время электростанции на базе газопоршневых двигателей мощностью от 1 до 4 МВт являются наиболее востребованным источником постоянного энергоснабжения жилищно-коммунального сектора, промышленных предприятий, угледобывающих и нефтегазовых промыслов.

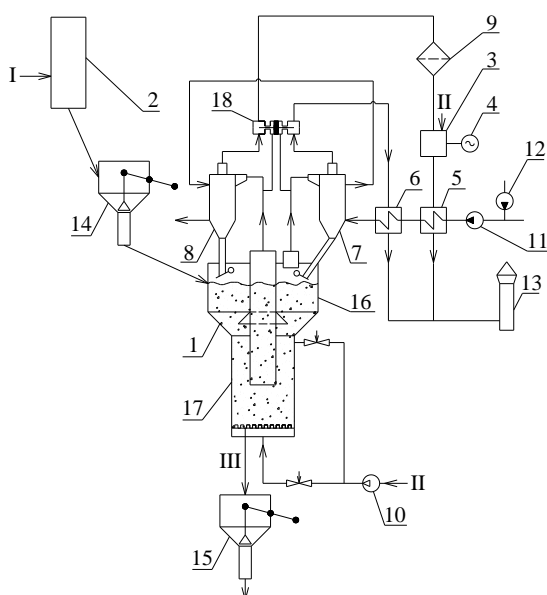


Рис. 1.

В данной статье рассматривается угольная мини-ТЭЦ на базе газогенератора с псевдоожиженным слоем, продукты воздушной газификации от которого используются газопоршневыми ДВС с электрогенератором и сетевыми подогревателями – утилизаторами теплоты для целей теплоснабжения.

Теплота сгорания продуктов газификации увеличивается с ростом температуры псевдоожиженного слоя из-за увеличения в них концентрации СО. С целью увеличения температуры слоя в реакционный объем газогенератора подводится дополнительное количество тепловой энергии посредством сжигания летучих и части продуктов газификации в отдельной камере сгорания, в которую подается уголь (рис. 1). Дополнительная теплота, выделяющаяся там, переносится в реакционный объем циркуляцией дисперсных частиц кокса, золы и шлака. Выгорание летучих в камере сгорания с кипящим слоем достигает 94 % [1], что позволяет уже в камере сгорания практически избавиться от смолы, уксусной кислоты, скипидаров и фенолов. Это существенно упрощает конструктивное решение газоочистных устройств, что очень важно для использования этой технологической схемы в поршневых ДВС.

Продукты газификации и полного сгорания отводятся отдельно. Выделившаяся тепловая энергия в камере сгорания расходуется на подогрев продуктов до оптимальной температуры. Для определения оптимальной доли продуктов газификации топлива, идущих на полезное использование, составим уравнение теплового баланса газогенератора

$$[(1-x)q_{x_3} + q_{\text{л}}] + q_{x_1} + q_y + q_{\text{вы}} + q_{\text{в}_1} + q_{\text{в}_2}(1-x) + q_{\text{в}_3} = t[c_{\text{пг}}x + c_{\text{пс}}(1-x) + c_{\text{пс}}^*] + q_{\text{н}} + q_{x_2} \frac{\bar{r}_{\text{CO}}}{0,34}. \quad (1)$$

Здесь  $q_{x_1}$  – теплота экзотермической реакции;  $q_{x_2}$  – теплота эндотермической реакции;  $q_{x_3}$  – теплота экзотермической реакции горения части продуктов газификации в камере сгорания в зоне подвода вторичного воздуха;  $q_{\text{л}}$  – теплота сгорания летучих;  $q_y$ ,  $q_{\text{вы}}$ ,  $q_{\text{в}_1}$ ,  $q_{\text{в}_2}$  и  $q_{\text{в}_3}$  – теплота, вносимая с сухим углем, с влагой угля, с первичным воздухом, подаваемым под газораспределительную решетку, с воздухом, подаваемым на горение части продуктов газификации и летучих;  $q_{\text{н}}$  – теплота, затраченная на нагрев, испарение и перегрев пара, образовавшегося из влаги угля;  $c_{\text{пг}}$ ,  $c_{\text{пс}}$  и  $c_{\text{пс}}^*$  – удельные теплоемкости продуктов газификации, продуктов сгорания части продуктов газификации и продуктов сгорания летучих;  $\bar{r}_{\text{CO}}$  – концентрация СО на выходе из слоя,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ; 0,34 – предельная (по стехиометрии) концентрация СО на выходе из газогенератора,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;  $x$  – доля продуктов газификации, отводимых для полезного использования;  $(1-x)$  – доля продуктов газификации, отводимых на сжигание для увеличения температуры в слое. При  $x = 1$  температура в слое равна 760 °С.

При моделировании процесса газификации задавался ряд значений  $x$ , из уравнения теплового баланса (1) получали ряд значений температуры в псевдоожиженном слое  $t$ . При каждом значении температуры из уравнений материального баланса рассчитывался состав продуктов газификации ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2$ ). При уменьшении доли  $x$  температура в слое увеличивается, что приводит к возрастанию содержания СО в продуктах газификации и теплоты

сгорания продуктов газификации. Производство  $r_{\text{CO}}$  возрастает, проходит через максимальное значение, затем убывает.

В результате расчетов было установлено, что максимальный выход CO соответствует значению  $x = 0,92$ , при этом температура в слое равна  $830^\circ\text{C}$ , а продукты газификации имеют теплоту сгорания  $3680 \text{ кДж/м}^3$ .

Для проверки модели были проведены опыты на экспериментальном газогенераторе диаметром  $0,28 \text{ м}$ . Сравнение расчетов с экспериментальными данными представлено в таблице.

Компоненты продуктов воздушной газификации, %	$r_{\text{CO}_2}$	$r_{\text{O}_2}$	$r_{\text{N}_2}$	$r_{\text{CO}}$	$r_{\text{CH}_4}$	$r_{\text{H}_2}$
Экспериментальные данные	7,7	3,1	61,7	19,5	1,2	6,8
Расчет по модели	11,3	3,0	57,9	22,9	0,0	0,0

Состав получаемых продуктов газификации определяли на хроматографе. Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

На рис. 2 оптимизирована величина  $Q = BxQ_i^r$ , кВт, в зависимости от параметра  $x$ . Здесь  $B$  – объемная производительность газогенератора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$B = GF_p / \rho_{\text{пр}}^*$ ;  $F_p$  – площадь сечения газогенератора,  $\text{м}^2$ ;  $\rho_{\text{пр}}^*$  – плотность продуктов газификации при нормальных условиях,  $\text{кг/м}^3$ .

На основе моделирования и экспериментальных данных рассчитана мини-ТЭЦ. Выход сухого газа на  $1 \text{ кг}$  угля по расчетам составил  $2,1 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Теплота сгорания генераторного газа  $Q_i^c = 3680 \text{ кДж/м}^3$ .

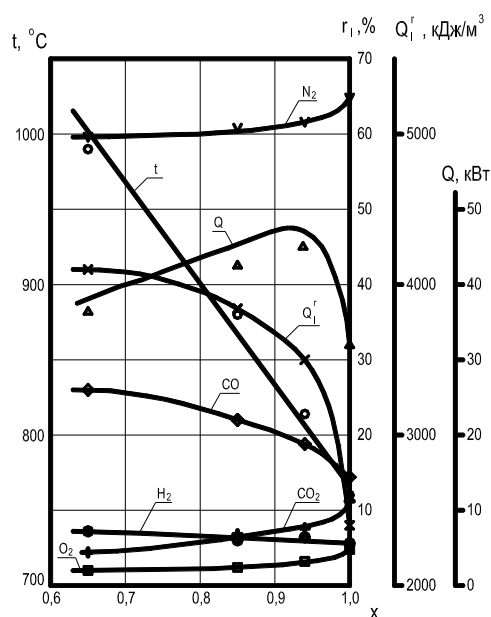


Рис. 2.

Химический КПД газогенератора составит

$$\eta_r = \frac{2,1Q_i^c}{Q_H^p} = \frac{2,1 \cdot 3680}{15280} = 0,51 = 51\%.$$

Поскольку физическая теплота продуктов используется для целей теплоснабжения, коэффициент использования топлива выше КПД газификации и составляет

$$\eta_{\text{исп}} = 75\%.$$

Удельный расход натурального топлива (бородинского угля) на выработку электрической энергии составляет

$$b_3 = \frac{3600}{Q_n^p \eta_3 \eta_m \eta_{исп}} = \frac{3600}{15280 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,75} = 0,327 \text{ кг} / (\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

или  $0,327 \cdot (10^6 / 3600) = 90,9 \text{ кг} / \text{ГДж}$ . Здесь  $\eta_3$  и  $\eta_m$  – КПД электрогенератора и механический КПД двигателя.

Удельный расход натурального топлива на отпуск теплоты в тепловые сети

$$b_t = \frac{10^6}{Q_n^p \eta_{тп} \eta_{исп}} = \frac{10^6}{15280 \cdot 0,95 \cdot 0,75} = 91,9 \text{ кг} / \text{ГДж} (385 \text{ кг} / \text{Гкал}),$$

где  $\eta_{тп}$  – КПД тепловых потерь в водяных тепловых сетях.

Соотношение удельного расхода топлива на производство электрической и тепловой энергии составляет практически 1:1.

При выработке 500 кВт электрической энергии и отпуске 7557 кВт тепловой энергии расход натурального топлива равен 0,739 кг/с (2,66 т/ч). Выход золы составляет 197 кг/ч. Мощность, потребляемая на собственные нужды, составляет 6 % от мощности, получаемой на электрогенераторе.

#### *Библиографический список*

1. Осипов П.В., Чернявский Н.В., Рыжков А.Ф. Изучение характера выгорания Волчанского бурого угля в условиях кипящего слоя // Теплофизика и теплоэнергетика: сб. науч. статей. Магнитогорск: МГТУ, 2010. С. 96–99.
2. Тупоногов В.Г., Рыжков А.Ф., Баскаков А.П., Родненко Д.А. Волны давления и порозности в псевдоожиженном слое // Вестник УГТУ-УПИ: Теплоэнергетика. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. С. 24–30.
3. Виленский Т.В., Хзмалян Д.М. Динамика горения пылевидного топлива. М.: Энергия, 1978. 248 с.

### **ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

*Карасева Ю.В., Шитилова М.Ю.*

*Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет*

*e-mail: marinashpilova@yandex.ru*

Одной из наиболее важных проблем агропромышленного комплекса является захоронение отходов производства животноводческих предприятий и повышение плодородия почвы, следовательно, урожайности сельскохозяйственных культур.

На сельскохозяйственных предприятиях Российской Федерации ежегодно образуется около 640 млн т навоза и помета, что по удобрительной ценности эквивалентно 62 % от общего производства минеральных удобрений в стране, а также имеются следующие отходы: скорлупа от яиц, перья и прочие. На предприятиях по переработке животноводческой продукции образуются в большом количестве отходы по переработке мяса животных и птиц (некондиционная

продукция), содержимое желудка и кишок, отходы из жиروتделителей, содержащие животные жировые продукты, а также отходы рогов и копыт. Но из-за отсутствия экономически эффективных технологий по переработке отходов животноводства и использования их в качестве органических удобрений, этот материал практически не используется, что требует от предприятия высоких затрат на вывоз и захоронение таких отходов.

Одним из решений данной проблемы может служить использование биогазовых технологий в сельском хозяйстве. Традиционно в европейской практике используются биогазовые установки, основанные на жидкофазном сбраживании. Однако всё больший интерес в мировой науке привлекают технологии обработки органических отходов от различных источников в установках конферментации, основанных на твёрдофазном сбраживании различных групп субстратов с различной влажностью.

При так называемой «сухой» ферментации речь идет о технологии, при которой перемещение насосами сбраживаемого материала, характеризующегося устойчиво твердой консистенцией, в исходном состоянии не представляется возможным. Преобразование в биогаз происходит при такой технологии без доступа кислорода при влажности субстрата в объеме сбраживания 60...80 % (т. е. при содержании сухого вещества 20...40 %), причем, прежде всего, при отсутствии непрерывного способа не происходит перемешивания содержимого ферментера [1].

Например, от птицеводческого предприятия мощностью 40 тыс. кур несушек и 10 млн цыплят бройлеров получают 118 тыс. т пометной массы и свыше 400 тыс. кубометров сточных вод с повышенной концентрацией органических компонентов в год. Такое количество биомассы при анаэробной переработке в биореакторах позволит получить примерно 235 м<sup>3</sup> биогаза, содержание метана в котором около 60-70 %. Теплота сгорания биогаза 21...24 МДж/м<sup>3</sup>. Полученный газ можно использовать как источник энергии на собственные нужды предприятия и не только [4].

Удельный выход биогаза на тонну отходов различного происхождения представлен в таблице.

Потенциальный выход биогаза из отходов предприятий по производству и переработке сельскохозяйственной продукции [1, 2]

Наименование отходов	Выход биогаза, м <sup>3</sup> /т
Навоз КРС (природный 85...88 % вл.)	60
Навоз свиней (природный 85 % вл.)	65
Птичий помет	80-140
Зерно	550
Жир	1300
Жир из жироловок	250
Отходы бойни	300



Сброженная в метантенке масса представляет собой легко усваиваемое растениями и лишенное возбудителей болезней и семян сорняков жидкое высококонцентрированное органическое удобрение, содержащее аминокислоты, макро- и микроэлементы, стимулирующие рост растений. Это удобрение может применяться на почвах всех типов. К тому же, производство биогаза помогает предотвратить выбросы метана в атмосферу, что препятствует парниковому эффекту и образованию «озоновых дыр» в атмосфере [3].

Биогазовая установка – это единственная система очистки отходов, которая не только потребляет энергию, но и производит её, что делает эту технологию наиболее эффективной и экономичной. Процесс переработки отходов абсолютно герметичен, поэтому запахи от обрабатываемого вещества не распространяются в окружающую среду. Биогазовая установка позволяет убрать основную массу загрязняющих органических веществ, поэтому после сбраживания отходы не имеют неприятного запаха.

Наличие на предприятии биогазовых установок позволяет уменьшить размер санитарной зоны, то есть расстояние от предприятия до жилой застройки, с 500 до 150 м. Поскольку сейчас остро стоит вопрос охраны окружающей среды то использование этой технологии позволяет повысить экологическую привлекательность данного предприятия.

Авторами предлагается конструкция биогазовой установки твердофазного сбраживания на предприятиях агропромышленного комплекса. Данная технология может считаться эффективной на предприятиях с выходом отходов от 50 т/ч, так как данного количества хватит для производства такого объёма биогаза, которого будет достаточно не только для поддержания этих установок в рабочем состоянии, но и для обеспечения энергетических нужд предприятия.

Цехи по переработке отходов окупаются примерно за 1–1,5 года. Это происходит за счет снижения затрат на размещение отходов производства и на закупку удобрений, а также затрат на энергию, необходимую для работы предприятия.

### *Библиографический список*

1. Weiland P. Stand der Technik Bei der Trockenfermentation – Aktuelle Entwicklungen // Gulzower fachgesprache. Band 24: Trockenfermentation – Stand der Entwicklungen und weiteter F&E – Bedarf. Gulzow, 2006.
2. Выгоды биогазовой станции [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://zorgbiogas.ru>, свободный.
3. Технология HSAD (анаэробное пищеварение отходов) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://wsmg.org>, свободный.
4. Обработка отходов птицефабрики [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.recyclers.ru](http://www.recyclers.ru), свободный.



## АТОМНАЯ СТАНЦИЯ ДАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА БАЗЕ КОНВЕРСИИ МЕТАНА

Климова В.А.

УрФУ, artem1010@rambler.ru

Проблема экономии ископаемых топлив, все более остро встающая перед человечеством, вынуждает искать новые источники энергии. Такие отрасли как атомная и нетрадиционная энергетика должны интенсифицировать свое развитие. Хотя в сфере атомной энергетики достигнут определенный успех и ядерный энергоисточник активно используется для выработки электричества, в других секторах энергоиспользования атомная энергия практически не применяется. Следовательно, существует необходимость расширять область применения атомной энергии путем внедрения ее в производство тепла и моторных топлив.

В настоящее время теплоснабжение от атомных станций осуществляется по той же схеме, что и от обычных котельных и тепловых электростанций – пар из отборов турбины направляется в подогреватели сетевой воды, а вода с температурой 130 °С подается потребителю. Среди недостатков такой схемы – малая доля выработанной энергии, направляемая на теплоснабжение, а также невозможность обеспечить теплом удаленного потребителя. Кроме того, низкопотенциальная тепловая энергия не может использоваться для энергообеспечения промышленных процессов.

Разрабатываются проекты атомных станций теплоснабжения на основе водо-водяных кипящих реакторов малой мощности, а также проекты ядерных технологических комплексов на основе высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов. Однако эти проекты не решают поставленной задачи обеспечения теплом малых населенных пунктов и предприятий, удаленных от атомного энергоисточника.

В данной работе предлагается схема атомной станции дальнего теплоснабжения, работающей на основе хемотранспорта тепловой энергии (рис. 1).

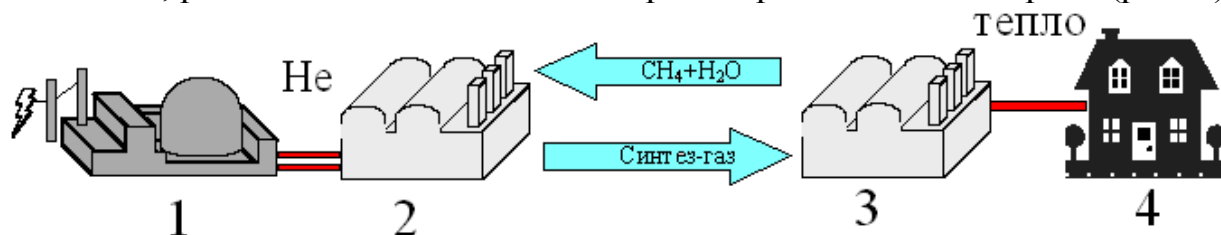


Рис. 1. Схема дальнего теплоснабжения от атомного энергоисточника:  
1 – атомная станция; 2 – система производства синтез-газа; 3 – установка метанирования; 4 - потребитель

Вблизи энергоисточника (АСДТ) проводится химическая реакция с поглощением теплоты. Затем «холодные» продукты реакции транспортируются к потребителю, где в соответствующем химическом реакторе проводится обратная реакция – с выделением теплоты.

Для аккумуляции тепла применяется термохимический цикл паровой конверсии метана:





редавая теплоту гелию второго контура. Гелий второго контура с температурой 850 °С подается в химический реактор 1 ступени с никелевым катализатором, где нагревает исходные продукты реакции (водяной пар и метан). Далее гелий с температурой 720 °С подается в парогенератор, где охлаждается до 440 °С. Давление гелия 2 контура принято 3 МПа. Третий контур включает в себя систему производства синтез-газа и систему получения электрической энергии. Система производства синтез-газа состоит из химических реакторов двух ступеней и нескольких технологических теплообменников и испарителей. Система получения электрической энергии включает в себя паровую турбину с необходимым оборудованием и предназначена для производства электроэнергии на собственные нужды и для снабжения внешних потребителей.

АСДТ может работать как в режиме совместного производства синтез-газа и электрической энергии, так и только в режиме технологического комплекса. Система производства электроэнергии предназначена для работы в пиковом режиме, когда она потребляет до 50 % мощности, выдаваемой реактором. Система производства синтез-газа модульная; содержит несколько резервных установок, которые включаются во время провалов электрической нагрузки. Таким образом, АСДТ вносит свой вклад в проблему регулирования электрической нагрузки.

Тепло в химически связанном состоянии можно транспортировать на расстояние до 300 км. Конструкция трубопровода для хемотранспорта тепла не требует дорогостоящей и трудоемкой изоляции.

Система дальнего теплоснабжения на основе паровой конверсии метана с обеспечением энергией от высокотемпературного ядерного реактора особенно актуальна для северных территорий Российской Федерации, где имеется большое количество удаленных потребителей тепла и продолжительный отопительный период.

#### *Библиографический список*

1. Дубинин А.М., Финк А.В., Каграманов Г.Р. Получение водорода из природного газа // Промышленная энергетика. 2007. № 5. С. 32-37.
2. Корякин Ю.И. Дальнее атомное теплоснабжение – вторая главная задача ядерной энергетики России XXI века. // Новости теплоснабжения. 2002. № 7 (23); [www.rosteplo.ru](http://www.rosteplo.ru).

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «НЕПРЯХИНО» ЮУрГУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

*Козин А.А.*

*Южно-Уральский государственный университет*

*E-mail: [dgeri3@yandex.ru](mailto:dgeri3@yandex.ru)*

Задачей данной научной работы была оценка возможности энергоснабжения ряда объектов при помощи ветроэнергетических установок. В качестве исследуемого объекта был выбран спортивно-оздоровительный комплекс (СОК) «Непряхино», принадлежащий Южно-Уральскому государственному университету (ЮУрГУ). Тема исследований входит в перечень тем приоритет-

ного направления развития ЮУрГУ как национально-исследовательского университета.

Основной нагрузкой комплекса, который в настоящий момент получает электропитание от ПС «Непряхино» 110/10 кВ является освещение, отопление, бытовые и нагревательные приборы. Разрешённая нагрузка составляет 360 кВт.

Был проведён анализ материалов регулярных наблюдений ближайших к исследуемой местности метеостанций. Основу исходной информации для определения климатических характеристик ветроэнергоресурсов составляют материалы регулярных наблюдений на метеорологических станциях в г. Миассе, г. Златоусте и на горе Таганай.

Согласно этим данным, среднегодовая скорость ветра в СОК «Непряхино» составляет 5 м/с. Направление ветра обусловлено ландшафтом местности, т.е. он дует всегда со стороны озера Большой Сунукуль.

Было установлено, что средняя скорость ветра на высоте установки ветроколеса ВЭУ (20 м) составит 6 м/с.

Для электроснабжения объекта было решено использовать разработки ООО «ГРЦ-Вертикаль», г. Миасс, Челябинской области.

Уникальная конструкция ротора ветроэнергетической установки этого предприятия имеет минимальный уровень шума, представляет меньшую опасность для человека и животных, её удобно и эффективно размещать в составе ветропарка и др. Благодаря таким характеристикам, рассматриваемую ВЭУ можно размещать вблизи зданий и сооружений или даже непосредственно на них.

Для обеспечения энергией потребителей СОК «Непряхино» был выбран ветроагрегат ВЭУ-30 мощностью 30 кВт.

Проведённые теоретические расчеты показали, что ВЭУ-30, установленная в СОК «Непряхино» будет иметь следующие параметры мощности:

Мгновенная мощность – 7 кВт;

Дневная выработка – 168 кВт·ч;

Месячная выработка – 5040 кВт·ч;

Годовая выработка – 60480 кВт·ч.

Однако, при эксплуатации подобных ветроустановок, могут возникать проблемы:

- стабилизация частоты вращения ротора ветроколеса (усложняет ВЭУ, сокращает рабочий диапазон используемых ветров, снижает эффективность использования ветрового потока);

- использование асинхронного генератора (потребляет из сети реактивную мощность);

- использование в силовой цепи выпрямителя и силового инвертора (при увеличении мощности, стоимость нелинейно возрастает).

Выбор асинхронизированного синхронного генератора разрешает выше названные технические противоречия и позволяет создать дешёвую, надёжную силовую электрическую часть ВЭУ, позволяющую вырабатывать качественную по всем параметрам выходную электроэнергию вне зависимости от направления и величины ветрового потока.

Также в состав ВЭУ входит набор АКБ (для ВЭУ-30 необходимо 48 АКБ емкостью 190 А·ч). Для нашего проекта была выбрана АКБ – Исток 6СТ-190А3 (190 Аh), ёмкостью 190 А·ч.

Были рассмотрены нагрузки всех объектов СОК «Непряхино», а также балансы активной и реактивной мощности. Стоит отметить, что после введения в эксплуатацию ветроэнергетических установок вся реактивная мощность будет потребляться из сети, так как рассматриваемые ВЭУ вырабатывают только активную мощность.

Была проведена проверка кабельной линии 10 кВ ТП303-КТПН по допустимому току и сделан вывод, что данная линия не требует реконструкции.

Был проведён анализ работы трансформаторов, установленных в ТП303 и КТПН, после чего выяснилось, что требуется заменить трансформаторы ТМ-400/10, установленные в КТПН на ТМ-630/10, поскольку при аварии они будут загружены на 171 %, а такая перегрузка недопустима.

с учетом всех требований был намечен вариант для подключения 14 ветроэнергетических установок, которые, при использовании газоснабжения и энергосберегающего оборудования, могли бы полностью покрывать активную нагрузку рассматриваемой сети.

При составлении карт режимов пренебрегли сопротивлениями линий из-за их малой величины, вследствие этого не учитывались потери напряжения.

При питании нескольких нагрузок от одной ВЭУ принято, что мощность распределяется пропорционально величине нагрузки.

Был рассмотрен вопрос обеспечения защиты существующей сети от возможных аварий. Установлено, что существующая ТП требует реконструкции, так как при подключении ветроэнергетических установок меняется схема работы релейной защиты. Для получения разрешения на реализацию предлагаемого проекта необходимо осуществить следующие мероприятия:

- Вместо существующих ТП303 и КТПН-630/10 установить одну КТПН-630/10.
- Установить на данной КТПН токовую направленную защиту, которая в случае возникновения короткого замыкания, реагировала бы на изменение направления потоков мощности и отключала повреждённую линию. Такую защиту может осуществлять аппарат SPAC 810.
- На фидеры с низкой стороны поставить автоматы Masterpact Micrologic 2.0 производства компании Schneider Electric.

После реализации данной реконструкции может быть получено разрешение на параллельную работу с сетью.

Была проведена оценка стоимости исходного варианта энергоснабжения и стоимости инвестиционного проекта. Расчетный срок окупаемости инвестиционного проекта с учётом потерь в линиях составляет 18 лет. Столь длительный срок окупаемости определяется существующими на сегодняшний день тарифами на электроэнергию.

Несмотря на это, и с учетом несомненных преимуществ использования ветроэнергетических установок для электроснабжения подобных объектов, работы в этом направлении следует продолжать, поскольку реализация таких проектов напрямую связана с вопросами энергосбережения.

## МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ АНАЭРОБНОГО СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ

Коржавин С.А., Щеклеин С.Е.

УрФУ, aes@mail.ustu.ru

Установка для исследования процессов анаэробного спиртового сбраживания создана для исследования зависимости скорости реакции анаэробного спиртового сбраживания от различных физических воздействий. Установка изображена на рис. 1.



Рис. 1. Установка исследования процессов анаэробного сбраживания

Бродильная ёмкость представляет собой герметичный сосуд, объёмом 3 л, оборудованный каналом выхода газа и зондом для измерения температуры субстрата. Бродильная ёмкость погружена в термостат для поддержания оптимальных температурных условий анаэробного спиртового брожения. Канал выхода газа из бродильной ёмкости подведён к расходомеру ГСБ-400, оборудованному гидрозатвором для обеспечения анаэробного спиртового брожения.

В опытах использовался субстрат оптимального состава: сусло с содержанием сахара 20 %, 8 % дрожжевого затора и питательные вещества для питания дрожжей. В ходе экспериментов исследовались параметры, по которым можно оценивать скорость процесса. Таким параметром является содержание сахара в субстрате, но для его измерения приходится нарушать герметичность установки сбраживания, после чего субстрату необходимо некоторое время, чтобы выйти на режим анаэробного сбраживания. По результатам экспериментов была выявлена линейная зависимость содержания сахара в субстрате от количества газа, вышедшего в результате брожения. Данная зависимость оказалась одинаковой при различных физических воздействиях на субстрат в ходе брожения: различным температурам протекания процесса анаэробного сбраживания, ультразвуковому и вибрационному воздействию на субстрат во время процесса. Поэтому можно считать количество вышедшего газа прямым показателем скорости протекания процесса анаэробного сбраживания. График зави-

симости количества вышедшего из субстрата газа от количества израсходованного в ходе реакции сахара в безразмерных величинах изображён на рис. 2.

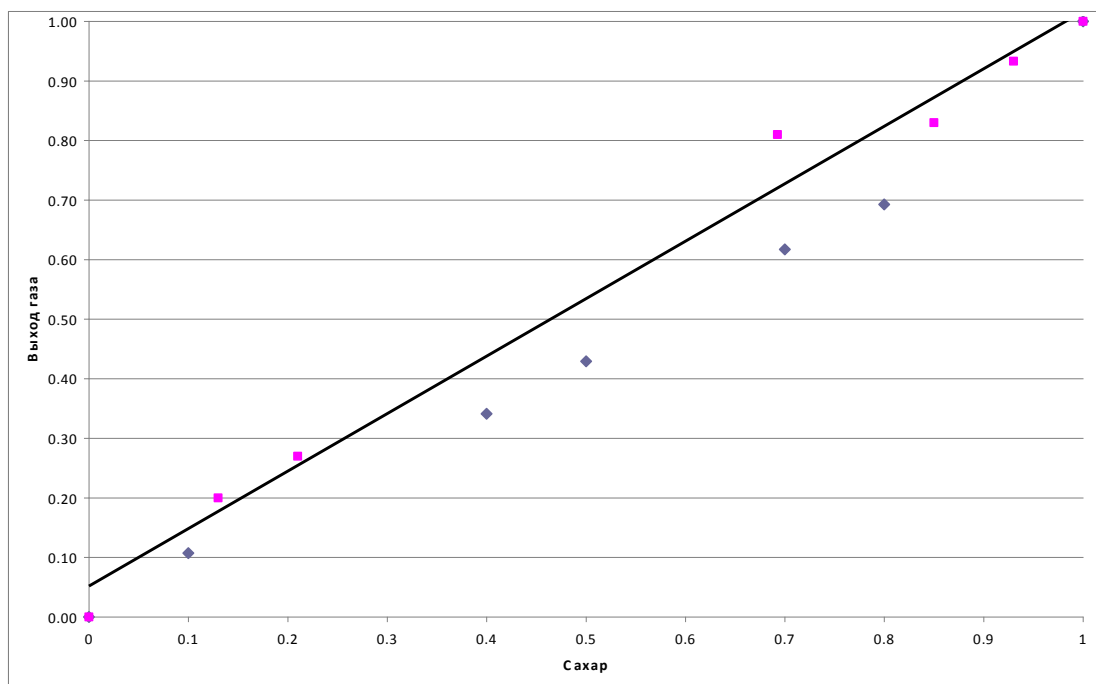


Рис. 2. Зависимость вышедшего газа от израсходованного сахара

Верное направление протекания процесса анаэробного спиртового брожения можно определить по типу реакции (экзотермическая или эндотермическая). Правильно протекающая реакция анаэробного спиртового сбраживания должна быть экзотермической [1]. График правильного и неправильного протекания реакции анаэробного спиртового сбраживания изображён на рис. 3.

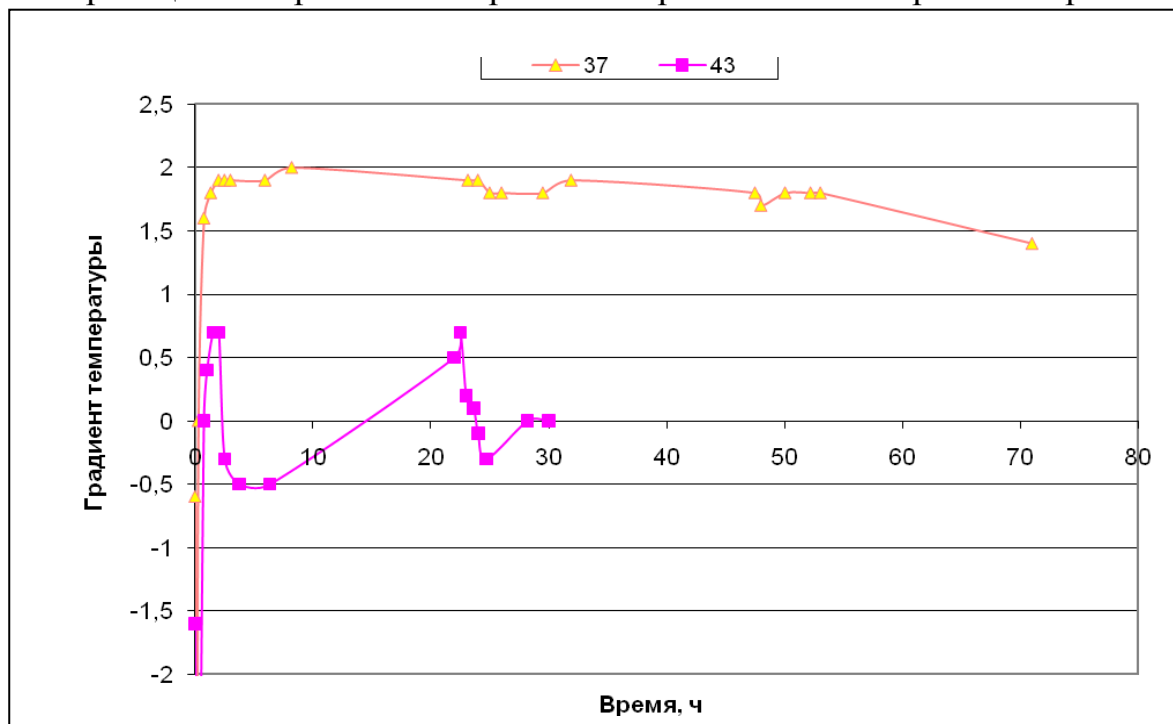


Рис. 3. Правильное и неправильное протекание реакции анаэробного сбраживания: 37 °C - правильное протекание реакции; 43 °C - неправильное протекание реакции

Таким образом, разработана методика, позволяющая исследовать влияние на скорость процесса отдельных физических воздействий (температура, вибрация, ультразвук и др.) без нарушения герметичности экспериментальной установки.

#### *Библиографический список*

1. Фердман Г.И., Шойхет М.И. Технология продуктов брожения. М.: Высшая школа, 1976. 343 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА**

*Крюков А.А.  
СПбГАСУ*

*E-mail: [tonics\\_1@mail.ru](mailto:tonics_1@mail.ru)*

Традиционные виды топлива твердое, жидкое и газообразное относятся к невозможным источникам энергии. Рано или поздно необходимо будет искать альтернативную замену этим источникам. Среди возобновляемых источников энергии наиболее популярными являются энергия рек, ветра, солнца и приливов. Но значительное место в этой схеме занимает биотопливо, (его доля в ряде альтернативных источников в некоторых странах составляет свыше 30 %).

Кроме того, Киотский протокол закрепил обязательства стран по ограничению и снижению поступлений в окружающую среду парниковых газов и вредных веществ.

Вполне очевидно, что итогом осуществления мер, предусмотренных протоколом для большинства стран, включая Российскую Федерацию, будет создание энергетики, работающей на альтернативных видах топлива.

Одним из таких видов топлива могут стать гранулы из высушенного осадка сточных вод. Сушка обезвоженного осадка решает проблему его утилизации или захоронения. Высушенный осадок можно хранить в течение многих месяцев без риска образования патогенных микроорганизмов. После обработки в сушилке осадок соответствует экологическим нормам, разрешающим его неограниченное применение в сельском хозяйстве, например в качестве удобрения. При невозможности полностью использовать осадки в качестве удобрения или при наличии затруднений с транспортом для вывоза осадков, исходя из теплотворной способности сухого осадка (4500...5000 кДж/кг), имеется возможность применить их в качестве топлива, такого, как, например, пеллеты.

Один из вариантов утилизации обезвоженного осадка очистных сооружений путем его сушки и, как следствие переработки его в биологически инертную массу, планируется к реализации на очистных сооружениях в г. Сочи.

Существующие в г. Сочи канализационные сети работают на пределе своих возможностей, очистные сооружения требуют реконструкции и модернизации с увеличением мощностей и повышением качества очистки сточных вод. После консервации устаревших навагинских очистных сооружений, вся нагрузка ляжет на бзугинские очистные сооружения. На данных сооружениях планируется установка агрегатов для сушки осадка по технологии итальянской фир-



мы «Vomm». Технология основана на создании тонкой пленки обезвоженного осадка, находящегося в высоко турбулентном состоянии. Осадок непрерывно перемещается внутри сушилки с помощью турбины, вращающейся в сушильном агрегате; при этом осадок внутри перемещается поступательно в направлении цилиндрического модуля.

Теплоносителем в данной технологии является диатермическое масло (синтетическое масло на высокопарафинистой основе), нагреваемое внутри котла, который использует природный газ в качестве топлива. После нагрева диатермическое масло перекачивается в «рубашку» сушилки.

Внутренняя стенка сушильного модуля, нагреваемого тепловым элементом, обладает высоким коэффициентом теплообмена с тонкой высоко турбулентной пленкой обезвоженного осадка. Каждая частица осадка подвергается огромному количеству тепловых ударов о горячую стенку. В результате, для процесса сушки требуется незначительное время обработки (2...3 минуты), что соответствует короткому воздействию нагретой поверхности на осадок и очень малому текущему объему осадка внутри сушилки в каждый момент времени.

Основными составными частями установки являются секции: турбосушилки; разделения высушенного осадка; очистки и конденсации паров; гранулирования; упаковки; деодоризации; узлы подготовки сжатого воздуха и нагрева диатермического масла.

Весь технологический процесс можно представить следующим образом. Обезвоженный осадок сточных вод транспортируется в промежуточный бункер хранения осадка вертикального типа. Дно бункера соединено с буферной емкостью, из которой осадок распределяется к дозирующим насосам.

Непрерывно действующий, способный измерять объем, насос-дозатор подает обезвоженный осадок в дозаторы сушилок. Количество осадка внутри узла, контролируется постоянно с помощью датчиков уровня, чтобы обеспечить постоянную загрузку нижнего шнека. Этот узел оптимизирован, чтобы обеспечивать четкую подачу осадка в сушилку с помощью вариатора частоты, установленного на пульте управления.



Турбосушилка (рисунок) представляет собой неподвижный цилиндр с двухслойной оболочкой. Внутри сушилки находится турбина, которая вращает и перемещает осадок сточных вод через сушилку. В контакте с нагретой по-

верхностью под действием сильной турбулентности, образующей тонкий слой влажного материала, осадок сточных вод нагревается и высушивается под действием теплопроводности горячей поверхности и конвекции горячего воздуха, подаваемого в сушилку.

Затем смесь, состоящая из высушенного осадка, воздуха и водяных паров, разделяется на твердую и газообразную фазы. Твердая фаза, представляющая собой высушенный осадок, подается на хранение или упаковку, а газообразная фаза поступает на секцию дополнительной очистки паровоздушной смеси.

Паровоздушная смесь очищается от остаточных мелких частиц. После очистки часть потока, предварительно подогреваясь в теплообменнике, возвращается в турбосушилку, другая часть отправляется на узел деодоризации, затем сбрасывается в атмосферу.

Для подогрева диатермического масла используются специальные котлы, температура масла в подающей магистрали составляет 250 °С, в обратной 230 °С. В качестве топлива используется природный газ. Резервное топливо не предусматривается.

Учитывая высокую температуру уходящих газов (370 °С) образующихся в котлах для подогрева диатермического масла, налицо возможность утилизировать тепло для отопления и горячего водоснабжения близлежащих зданий. В качестве утилизаторов теплоты планируется установка двух водогрейных котлов-утилизаторов КУВ-175, суммарная тепловая мощность которых составит 350 кВт.

Таким образом, можно сделать вывод, что правильное решение проблемы утилизации осадка сточных вод должно обеспечить самоокупаемость и даже доходность станций, при полном соблюдении ими санитарно-гигиенических требований. При этом должны быть приняты все меры для наиболее полного использования ценных отходов, содержащихся в осадках.

#### *Библиографический список*

1. Шаврин В.И., Крюков А.А., Агафонов Р.К. Использование осадков сточных вод // Берг коллегия. 2009. № 2. С. 40-42
2. Ботук Б.О. Очистка бытовых сточных вод. М.: МКХ, 1949. 39 с.
3. Евилевич А.З. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Стройиздат, 1988. 248 с.
4. Техническая спецификация фирмы «Vomm». Милан (Италия), 2009. 120 с. (на рус. яз.)

### **О ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ КПД СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ НАНОСЕКУНДНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ**

*Ляпкало А.С.*

*Южно-Уральский государственный университет*

*lyapkaloanastasiya@mail.ru*

Известно, что 95 % из общего числа солнечных батарей (фотоэлектрических преобразователей) изготавливаются на основе кремния.

Кремний называют «нефтью 21-го столетия». Расчеты показывают, что солнечный элемент с КПД 15 %, на производство которого расходуется 1 кг

кремния, за 30 лет службы может произвести 300 МВт·ч электроэнергии [1]. Такое же количество энергии можно получить, например, израсходовав 75 т нефти (с учетом КПД теплоэлектростанций 33 % и теплотворной способности нефти 43,7 МДж/кг). Таким образом, 1 кг кремния оказывается эквивалентен 75 т нефти.

Кремний по распространённости в земной коре занимает второе место после кислорода, поэтому его ресурсы доступнее других материалов для солнечной энергетики. Исходным сырьем для изготовления кремния может служить, например, кварцевый песок. Кроме кремния используются и другие материалы (табл. 1).

Таблица 1

Материалы для солнечных батарей [1]

Материал	Коэффициент фотоэлектрического преобразования, %
Кремний	
Si (кристаллический)	24,7
Si (поликристаллический)	20,3
Si (тонкопленочная передача)	16,6
Si (тонкопленочный субмодуль)	10,4
Арсенид галлия	
GaAs (кристаллический)	25,1
GaAs (тонкопленочный)	24,5
GaAs (поликристаллический)	18,2
Многослойные	
GaInP/GaAs/Ge	32,0
GaInP/GaAs	30,3
GaAs/CIS (тонкопленочный)	25,8
a-Si/mc-Si (тонкий субмодуль)	11,7

На территории Челябинской области имеется определенный потенциал по кремнию. Известно и разработано несколько месторождений кварца и песка, одним из которых является Кыштымское месторождение кварцитов (рисунок).



Месторождения кварца на территории Челябинской области

Важнейшие конкурентные преимущества Кыштымского кварца:

- высокое качество кварцевой руды и значительные их запасы;
- реальная возможность выпуска кварцевых концентратов широкой номенклатуры сортов и высокого качества;
- расположение производства в относительной близости от потенциальных потребителей улучшает условия поставки.

Изученные характеристики Кыштымских кварцитов позволяют предположить, что они могут быть использованы для производства кремния солнечной градации.

Однако в солнечной энергетике, а именно при производстве ФЭП на основе кремния, существуют некоторые проблемы:

- высокая стоимость солнечных батарей;
- дефицит производства кремния;
- низкий КПД кремниевых солнечных батарей;
- выбросы хлора в атмосферу при производстве ФЭП.

Самой значимой остается проблема низкого КПД. Несмотря на это, для космических станций солнечная энергетика давно уже утвердилась как безальтернативная. Но и здесь желательно повысить КПД солнечных батарей с нынешних 10...15 % до 40 и выше, снижая при этом удельную стоимость конструкций.

Поэтому целью нашей работы является исследование возможных способов повышения КПД кремния.

Для сравнения рассмотрим характеристики другого полупроводникового материала для солнечных батарей – арсенида галлия GaAs (табл. 2). Арсенид галлия обладает более высокой подвижностью электронов, которая позволяет приборам работать на частотах до 250 ГГц, коэффициент фотоэлектрического преобразования больше, чем у кремния. Эти свойства арсенида галлия обеспечивают его преимущества по сравнению с кремнием.

Таблица 2

Сравнительные характеристики арсенида галлия и кремния

Характеристики	Арсенид галлия GaAs	Кремний Si
Относительная молекулярная (атомная) масса, а.е.м.	144,63	(28,085)
Плотность, г/см <sup>3</sup>	5,32	2,33
Температура плавления, К	1513	1688
Величина запрещенной зоны при 300 К, эВ	1,424	1,17
Постоянная решетки, нм	0,56	0,54
Теплопроводность при 300 К, Вт/(м·К)	150	149
Диэлектрическая проницаемость	11,1	11,7
Энергия ионизации (первый электрон), кДж/моль (эВ)	578,7 (6,00)	786,0 (8,15)
Электроны, эффективная масса	0.067 m <sub>e</sub>	1.08 m <sub>e</sub>
Дырки, эффективная масса	0.45 m <sub>e</sub>	0.56 m <sub>e</sub>
Подвижность электронов при 300 К, см <sup>2</sup> /(В·с)	8500	1400..1900
Подвижность дырок при 300 К, см <sup>2</sup> /(В·с)	400	500

Для повышения эффективности кремния необходимо улучшить его свойства, а именно подвижность электронов. С этой целью возникла идея воздействовать на него наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ).

Первоначально такие импульсы применялись для создания радиолокационных станций. Предложение использования НЭМИ для воздействия на вещества впервые в мире было сделано В.В. Крымским в 1996 г. В работе [2] подробно рассмотрено воздействие НЭМИ на свойства водных растворов, органических жидкостей и расплавы металлов. Анализируя результаты, полученные при экспериментальном облучении этих материалов, а также зная физические и химические свойства полупроводников, можно предположить, что их свойства будут меняться, но поскольку эти процессы очень сложны, то окончательный вывод можно сделать только после эксперимента. Поэтому последующей научной задачей является проведение теоретических и экспериментальных исследований по влиянию НЭМИ на электрические свойства кремния и других полупроводниковых материалов.

#### *Библиографический список*

1. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Л.: Наука, 1989.
2. Балакирев В.Ф., Крымский В.В., Кулаков Б.А., Ри Хосен. Электроимпульсные нанотехнологии / Под ред. чл.-корр. РАН Л.А. Смирнова. Екатеринбург: УрО РАН, 2009.

### **УТИЛИЗАЦИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ОСНОВЕ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ХЛОРЕЛЛЫ**

*Макарова Д.Н., Волкова М.В., Советкин В.Л.*

*УрФУ*

*volkova@uchdep.ustu.ru*

В результате сжигания топлива в атмосферу ежегодно поступает более 20 млрд. т двуокиси углерода и более 700 млн. т других паро- и газообразных соединений и твердых частиц. Усиление техногенного воздействия на природную среду породило целый ряд экологических проблем, из них самые острые связаны с состоянием атмосферного воздуха, водных и земельных ресурсов.

Свердловская область - одна из крупнейших производственных площадок страны. Основной отраслью региона является металлургия, занимающая лидирующее место по ущербу для окружающей среды. Себестоимость продукции в металлургии почти на треть определяется стоимостью энергозатрат, что объясняется особенностью металлургических процессов, где 80...90 % энергии тратится на реализацию собственно технологий. При этом в атмосферу выбрасывается более 50 % тепловой энергии.

В то же время, человечество стоит на пороге энергетического кризиса, связанного с истощением запасов природного топлива, что уже вызвало высокий интерес к поискам альтернативных видов топлива, в частности - биотоплива.

Для получения биотоплива используют промышленные культуры, что приводит к выведению части земель из севооборота, и, по некоторым данным, к увеличению цен на продукты. Поэтому, возможность использования бросовой

воды производств, для выращивания водоросли хлореллы с целью получения из нее в конечном итоге биотоплива, является заманчивой [1]. Хлорелла – одноклеточная зеленая водоросль, широко распространенная в природе в пресной и соленой воде, а также в почве. Эти водоросли имеют большую способность к выживанию и размножению в различных, даже самых необычных (таких, как сточные воды) условиях обитания. Единственным способом размножения хлореллы является деление клетки. Скорость размножения ее велика: за сутки зеленая масса этих водорослей увеличивается в 5-10 раз.

Питательная среда для хлореллы по своему составу очень напоминает состав сточных вод. Выращивание хлореллы позволит не только дополнительно очистить такие воды, но и получить биомассу, используя которую можно получить прибыль.

К числу достоинств можно отнести:

- сравнительную дешевизну, благодаря чему можно будет сократить инвестиции в строительство и эксплуатацию очистных сооружений, что позволит направить ресурсы на решение других проблем;
- компактность установки;
- получение результата в короткий срок.

#### *Библиографический список*

1. Советкин В.Л., Волкова М.В. Возможность использования хлореллы для очистки промышленных стоков // Сборник материалов ВНТК. Киров: ВятГУ, 2008. Т. 5. С. 131-133.

## **МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МАГНЕТИКИ И ИХ РОЛЬ**

*Малькова М. Г., Орлов П. А., Аникин А., Шулепов И., Пирумян Н. М.*

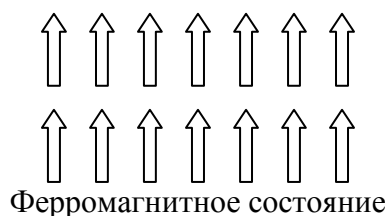
*УрФУ*

*sarapulovfn.yandex.ru*

Современная наука не стоит на месте, ученые разрабатывают новые технологии, материалы, которые позволяют добиться поразительных результатов как в сфере макро-, так и в сфере наноструктур. Уже сегодня в США, во Франции, в Великобритании, Китае, России приняты нанотехнологические программы. Для понятия нанотехнология, пожалуй, не существует исчерпывающего определения, но по аналогии с существующими микротехнологиями следует, что нанотехнологии – это технологии, оперирующие величинами порядка нанометра. Поэтому переход от «микро» к «нано» - это качественный переход от манипуляции веществом к манипуляции отдельными атомами. Нанотехнология сейчас находится в начальной стадии развития, поскольку основные открытия, предсказываемые в этой области, пока не сделаны. Тем не менее, проводимые исследования уже дают практические результаты. Одним из них является создание органических молекулярных магнетиков. Первооткрывателем молекулярного магнетизма можно считать Майкла Фарадея, одного из величайших гениев науки 19 века.

Молекулярный магнетизм, как физическое явление, характеризует магнитные свойства молекул – микроскопических объектов. При объединении этих

молекул в ансамбль – макрообъект, возможно возникновение качественно нового магнетизма за счет кооперативных межмолекулярных взаимодействий. Ниже определенных температур магнитные моменты отдельных молекул макрообъекта могут выстраиваться в определенный порядок. Такое вещество называется магнетиком. Главное, что следует иметь в виду: отдельные молекулы выступают в качестве строительных блоков магнетика. На рисунке схематично показано взаимное расположение магнитных моментов в твердом теле магнетика.



О металлических изделиях, обладающих магнитными свойствами, знает каждый, а вот органические вещества, реагирующие на магнит, представить сложно. Однако такие вещества получены и активно исследуются в разных странах мира. Это и есть молекулярные магнетики. Их создание имеет прямое отношение к спиновой химии и стало возможным благодаря появлению высокоточных приборов, позволяющих менять свойства вещества на уровне молекул. Сегодня достижения современной химии таковы, что химики могут поставить перед собой сверхзадачу – синтезировать в мягких условиях готовое изделие, скажем, монокристалл, сразу, как цельный макрообъект, из исходных молекулярных компонентов. При этом становятся равноправно значимыми как внутримолекулярные, так и межмолекулярные взаимодействия и связи. Причем, и это особенно важно, они должны быть не какими-то случайными, а выполняющими определенную функциональную нагрузку. В результате из отдельных молекул должен получиться макрообъект с неким кооперативным свойством, которое присуще природе кристалла, т. е. природе макроансамбля, но никак не отдельно взятой молекуле [1].

Примером может служить созданный в Международном томографическом центре СО РАН прозрачный голубоватый кристалл, обладающий свойствами магнита, позволяющий принципиально по-новому хранить информацию. В отличие от обычных магнитных лент, где информация записывается лишь на поверхность, в молекулярном магнетике она размещается по всему его объему. При помощи лазера на маленький кубик с площадью грани в один миллиметр можно записать объем данных, сопоставимый с объемом нескольких миллионов обычных магнитных дисков!

Подобные кубики могут стать незаменимыми в компьютерах, сотовых телефонах нового поколения.

Преимущества молекулярных магнетиков над традиционными:

- необычайно легкие по массе (их плотность в 5...7 раз меньше);
- могут быть оптически прозрачными в оптической и инфракрасной части спектра;

- как правило, молекулярные магнетики – диэлектрики, т. е. не требуют каких-то специальных изоляционных покрытий при контакте с электропроводящими устройствами;

- не токсичны;

- устойчивы к коррозии.

На основании таких преимуществ перед магнетиками открывается огромная сфера использования:

- для термоядерных и магнитногидродинамических установок (МГД установок) нужны сильные магнитные поля (как постоянные, так и меняющиеся во времени) в больших объемах, источником которых могут служить сверхпроводящие магнитные системы;

- в качестве альтернативы традиционной неорганической фотоэлектротехнике, цветосенсибилизированные солнечные батареи используют слой инкапсулированных наночастиц в сочетании с высокопроводящей ионной жидкостью. В противоположность кремниевым солнечным батареям, чья производительность падает с ростом температуры, цветосенсибилизированные солнечные батареи испытывают лишь незначительное изменение;

- в качестве энергоносителя - если сверхпроводящая обмотка замкнута накоротко, то наведенный в ней электрический ток сохраняется практически сколь угодно долго. Магнитное поле незатухающего тока, циркулирующего по обмотке магнитного соленоида (МС), исключительно стабильно и лишено пульсаций, что важно для ряда приложений в научных исследованиях и технике. МС находится обычно внутри криостата с жидким гелием. Для стабилизации тока в обмотке МС (предотвращения потери сверхпроводимости отдельными ее участками) сверхпроводящие обмоточные материалы выпускаются в виде проводов и шин, состоящих из тонких жил сверхпроводника в матрице нормального металла с высокой электро- и теплопроводностью (медь и алюминий). Жилы делают не толще нескольких десятков мкм, что снижает тепловыделение в обмотке при проникновении в нее растущего с током магнитного поля. Кроме того, весь проводник при изготовлении скручивают вдоль оси, что способствует уменьшению токов, наводящихся в сверхпроводящих жилах и замыкающихся через металл матрицы;

- Существуют органические фоторефрактивные материалы, которые используются для записи оптического изображения в голографии. Органические материалы, обладающие фотохромными свойствами, могут быть использованы для записи информации, причем носители, изготовленные из органических материалов при одинаковых размерах с обычными носителями, вмещают на несколько порядков больше информации [2].

#### *Библиографический список*

1. Понизовкин А. Органика магнетизма // Наука Урала. № 26-27 (982). Екатеринбург, ноябрь 2008.
2. Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Материалы науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / В.Ю. Балдин, И.С. Селезнева, С.Е. Щеклеин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 306 с.



## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТА МЕТАНОВОГО БРОЖЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

*Мифтахова Ю.А., Петрова Н.А.  
УрФУ, e-mail: [anikin-upi@yandex.ru](mailto:anikin-upi@yandex.ru)*

Сточные воды пивоваренного производства имеют сложную технологическую схему очистки, которая позволяет эффективно снизить концентрации загрязненных веществ по ХПК, БПК<sub>20</sub> и другим показателям.

Стоки проходят грубую механическую очистку на барабанных решетках, усредняются, нейтрализуются и подаются на несколько ступеней технологического процесса.

После предварительной обработки (осветление, закисление, удаление углекислого газа) стоки проходят анаэробную биологическую очистку при температуре 35...37 °С, аэробную очистку (денитрификацию и нитрификацию), химическое удаление фосфатов, осветление (удаление активного ила).

В процессе анаэробной биологической очистки образуется биогаз с высоким содержанием метана (до 75 %). Для дальнейшего использования биогаз сначала накапливается в газгольдере, что позволяет предупредить колебания давления в газопроводной системе, т. е. газгольдер выполняет роль безнапорной емкости.

Для контроля давления биогаза в газгольдере используют механический предохранительный клапан защиты от повышенного давления, разряжения и электрическими датчиками.

Энергетически ценный биогаз после предварительной обработки направляется в котельную для получения тепловой энергии. Расход образующегося биогаза постоянно измеряется расходомером. Все трубопроводы биогаза выполнены из нержавеющей стали и оснащены сопроводительным электрообогревом для предотвращения замерзания конденсата зимой.

Дополнительный источник энергии в виде биогаза позволяет обеспечить весь комплекс очистных сооружений теплом.

## **СИНТЕЗ НОВЫХ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ ДЛЯ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА**

*Мягкова И.М.<sup>1</sup>, Такиulina Т.Р.<sup>1</sup>, Щелканова М.С.<sup>2</sup>, Пантюхина М.И.<sup>1,2</sup>, Михайлова Н.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> УрФУ*

*<sup>2</sup> Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН*

*E-mail: [werty0@el.ry](mailto:werty0@el.ry)*

Энергетика является одним из приоритетных направлений развития общества, развития государства [1]. При этом развитие цивилизации неразрывно связано с увеличением электропотребления обществом в целом и каждым человеком в отдельности. В настоящее время достаточно хорошо развита и продолжает с высокими темпами развиваться индивидуальная энергетика: сотовые телефоны, ноутбуки, фото и телекамеры, автомобили и др. Задачей энергетики является удовлетворение все возрастающей энергооснащенности общества с

одновременным энерго и ресурсосбережением с улучшением экологической ситуации в технологии получения электроэнергии.

Индивидуальная мобильная энергетика основана в своем большинстве на традиционных первичных и вторичных химических источниках тока (ХИТ) [2]. Основным рабочим телом ХИТ является сепаратор, материалом которого традиционно служит твердый электролит (ТЭЛ). К ТЭЛ для ХИТ предъявляется много требований - это высокая электропроводность, униполярный характер проводимости, устойчивость по отношению к литию, окислителю и расплавленным солям. Кроме того, они должны обладать хорошими керамическими и технологическими свойствами.

Совместить все качества в одном твердом электролите чрезвычайно сложная задача, поэтому необходим синтез и исследование новых твердых электролитов для ХИТ. Наиболее перспективными для этих целей являются цирконаты лития, в частности фаза  $\text{Li}_8\text{ZrO}_6$  [3]. Данное соединение обладает всеми выше перечисленными свойствами ТЭЛ, однако значение проводимости  $\text{Li}_8\text{ZrO}_6$  равно примерно  $2 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  при  $600^\circ \text{C}$ . Поэтому в нашей работе мы провели допирование данного соединения оксидом магния и стронция с целью увеличения проводимости исходной фазы. Таким образом, мы синтезировали следующие твердые растворы  $\text{Li}_{8-2x}\text{Mg}_x\text{ZrO}_6$  и  $\text{Li}_{8-2x}\text{Sr}_x\text{ZrO}_6$ , где  $x$  = от 0 до 15 мол.% МО (где М - Mg, Sr). Синтез соединений производили в вакууме, при периодическом прокачивании осушенным гелием для уменьшения парциального давления продуктов реакции.

Для измерения электропроводности образцы готовили спеканием прессованных таблеток. Измерение температурной зависимости электропроводности проводили методом импедансной спектроскопии на четырехканальной ячейке в режиме охлаждения. Электронную составляющую проводимости определяли по методу Хебба-Вагнера с блокирующими никелевыми электродами. Доля электронной проводимости для всех соединений составила менее 0,1 %. Все измерения электропроводности были проведены в токе сухого азота.

В результате эксперимента мы получили следующие данные: при введение оксидов щелочноземельных металлов в фазу  $\text{Li}_8\text{ZrO}_6$  были получены твердые растворы в интервале  $x$  от 0 до 7,5 мол. % оксидов стронция и магния, при дальнейшем увеличении  $x$  образцы были гетерогенные. Также мы наблюдали увеличение проводимости допированных образцов по сравнению с чистой фазой  $\text{Li}_8\text{ZrO}_6$  при  $x$  от 0 до 7,5 мол. % МО (где М - Mg, Sr). Данный факт связан с образованием вакансий в литиевой подрешетке. Лучшее значение величины проводимости образцов составило  $1 \cdot 10^{-1} \text{ Ом}^{-1} \text{ см}^{-1}$  при  $600^\circ \text{C}$  ( $x = 7,5$  мол.% SrO).

Таким образом, допирование цирконата лития  $\text{Li}_8\text{ZrO}_6$  оксидами щелочноземельных металлов приводит к возрастанию проводимости, а также к улучшению керамических свойств материала.

#### *Библиографический список*

1. Путин В.В. Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации // Указ Президента Российской Федерации от 21 мая 2006 г.

2. Львов А.Л. Химические источники тока // Соросовский образовательный журнал (биология, химия, наука о земле, физика, математика). М.: ISSER, 1998. № 4. С. 45-49.
3. Пантюхина М.И., Щелканова М.С., Степанов А.П., Бузлуков А.Л. Исследование транспортных свойств твердых электролитов  $\text{Li}_8\text{ZrO}_6$  и  $\text{Li}_6\text{Zr}_2\text{O}_7$  // Известия РАН. Сер. физическая. 2010. Т. 74. № 5. С. 689–690.

## ГИРЛЯНДНАЯ ВЭУ РОТОРНОГО ТИПА

*Осипова Е.Ю., Попов А.И.  
УрФУ*

Для повышения энергетической мощности ветроэнергетической установки (ВЭУ) необходимо располагать ветроколесо на высокой мачте в зоне более-менее устойчивых ветровых потоков. Это обуславливает ряд дополнительных требований к конструкции мачты, ее прочности, устойчивости в опорах (фундаменте) и т.д. Часто возникают дополнительные проблемы, связанные с передачей электроэнергии от генератора, расположенного на верху мачты в гондоле через вращающийся токосъем на аппаратуру, расположенную внизу на земле.

Для получения от ветра электрической энергии мощности 4 кВт требуется, как правило, ветроколесо диаметром около 5 метров. Площадь ометания ветрового потока при этом составит  $19,6 \text{ м}^2$ . Это же значение можно получить от роторных ВЭУ, как бы «растянув» их площадь ометания в пространстве.

Если роторную ВЭУ выполнить в виде нескольких единичных роторов и закрепить их на гибкой оси (трос, цепь, стержни с кольцами), то при диаметре роторов 50 см, эту же ометаемую поверхность можно получить от гирлянды длиной примерно 39 метров.

Единичные роторы могут быть самых различных конструкций: Горлова, Дарье, Бенеша, Угринского-Попова и др. Для ротора Савониуса площадь ометания гирляндной ВЭУ будет значительно больше.

Другой важный момент состоит в том, что традиционно роторы старались выполнить с возможно большим радиусом, увеличивая ометаемую площадь за счет размаха лопастей. Гирлянда предполагает другой способ наращивания момента – не «вширь», а «вверх». Это значит, что выигрывает более длинная гирлянда при меньшем радиусе. Поперечные деформации уменьшаются одновременно во всех роторах, а возрастающую нагрузку на растяжение принимает на себя трос-привод. Таким образом, при уменьшении диаметра ротора и компенсации потерь в ометаемой площади за счет удлинения гирлянды, можно использовать для лопастей более тонкий и дешевый материал.

Гирляндные ветроустановки легко вписываются в облик современного города. Сочетание низкого шума, высокого КПД и привлекательного внешнего вида делают их в ряде случаев незаменимыми. Гирлянды можно размещать поперек улиц аналогично рекламным растяжкам, сверху вниз, а также вдоль многочисленных высотных зданий.

В отличие от известных ветроколес роторные гирлянды легко сочетаются с другими сооружениями. Гирлянда может размещаться на вышках связи, между опорами ЛЭП, на опорах контактной сети ЖД с целью получения электроэнергии для освещения переездов, между вантами и под полотном подвесного моста и т. д. Возможно, учитывать особенности рельефа местности, в частности, в

горной местности. Гирлянду можно разместить на несущем тросе между верхними частями гор, где велика вероятность наличия сильного ветра.

На большей части равнинной территории РФ среднегодовая скорость невелика – 2,5...5 м/с. Однако, в приземном слое почти всегда имеется значительная горизонтальная турбулентность в виде порывов ветра. Пропеллерные ВЭУ, требующие пространственной ориентации ветроколеса, не успевают отрабатывать эти энергетические импульсы, а роторные воспринимают и суммируют пульсации ветра с любой стороны.

Как преимущество, следует также отметить технологичность в изготовлении гирляндных ВЭУ роторного типа и минимум узлов в их конструкции. Вверху гирлянда крепится через упорный подшипник, несущая конструкция – трос, внизу трос соединен с ротором генератора. Приблизительные расчеты показывают, что при массовом производстве подобных ВЭУ их цена будет меньше, чем 1\$ за Вт установленной мощности.

Сотрудниками кафедры «Атомная энергетика» и Центра возобновляемой энергетики УрФУ разработано несколько модификаций единичных роторов, которые могут работать с высокой отдачей в составе гирляндных ветроэнергетических установок.

#### *Библиографический список*

1. Пат. ЕС WO 95/08062, форма Б.
2. А.С. СССР № 992800, кл. F03D 3/0.
3. Пат. США № 4293274, А от 6.10.1981.
4. Пат. ФРГ № 2758180 А1 от 28.06.1979.
5. Пат. РФ № 2246634, кл. F03D 3/0.

## **ВОЗМОЖНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ НАСОСА ТЕПЛОВОГО ДЕЙСТВИЯ В КОНТУРЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

*Парёхина И.В., Муротьян Д.О., Сасин В.Я., Савченкова Н.М.  
Московский энергетический институт (технический университет)  
parehina\_iv@mail.ru*

В настоящее время в России актуальны проблемы энергосбережения как на энергопредприятиях в целом, так и на отдельных их участках. В данной работе рассматривается применение двухфазного пульсационного насоса теплового действия (НТД) в бинарном контуре ГеоТЭС для перекачивания конденсата или охлаждающей воды вместо традиционных электрических насосов.

Под НТД понимается устройство, которое при подведении тепла к нему обеспечивает прокачку теплоносителя через внешний контур за счет испарения малого количества прокачиваемой жидкости. Испарение и конденсация происходят внутри насоса в его рабочих емкостях. Конструкция устройства представлена на рис. 1. НТД представляет собой простую конструкцию, поэтому технологичность изготовления НТД имеет преимущество по сравнению с другими типами насосов. При изготовлении могут использоваться любые металлы, совместимые с теплоносителем. Не требуется применение развитой инфраструктуры производства.

Технологическая цепочка изготовления установки замыкается снабжением материалами и квалифицированной газосварочной работой. Для работы

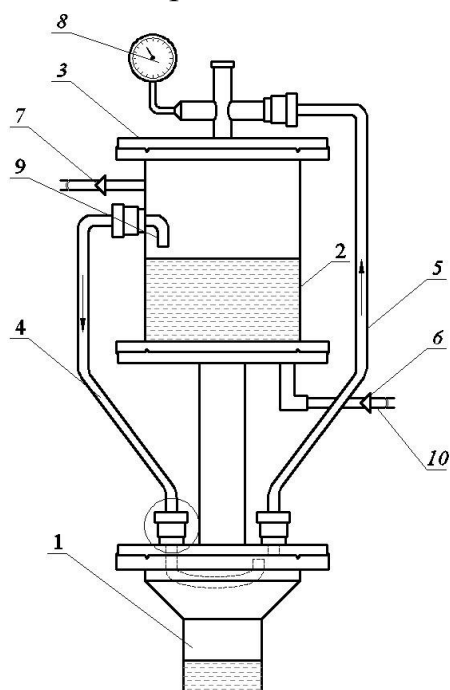


Рис. 1. Принципиальная схема НТД

- 1 – испаритель; 2 – накопитель-конденсатор; 3 – крышка;  
4 – гидросифон; 5 – паропровод;  
6, 7 – обратные клапаны;  
8 – барометр; 9 – срез гидросифона;  
10 – выпускная труба насоса

НТД не требуется электричества. Применение устройства увеличивает надёжность системы в целом. Исключая пусковой период, установившийся цикл тепло- и массопереноса в НТД включает в себя шесть этапов, отличающихся характером и интенсивностью процессов тепло- и массопереноса, часть из которых может рассматриваться как стационарные, а другая часть как динамические, для которых понятия динамических коэффициентов тепло- и массопереноса не существует [6].

В настоящее время в России идёт развитие геотермальных электрических станций, и проблема энергосбережения в этих системах актуальна. Сегодня бинарные ГеоТЭС в России могут быть экономически эффективными при температуре термальной воды  $70\ldots 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В настоящее время бинарные ГеоТЭС работают во многих странах, их суммарная мощность превышает 500 МВт. Несколько компаний за рубежом наладили серийное производство бинарных энергоустановок на органических рабочих телах (изобутан, изопентан) единичной мощностью  $1,5\ldots 4\text{ МВт}$ .

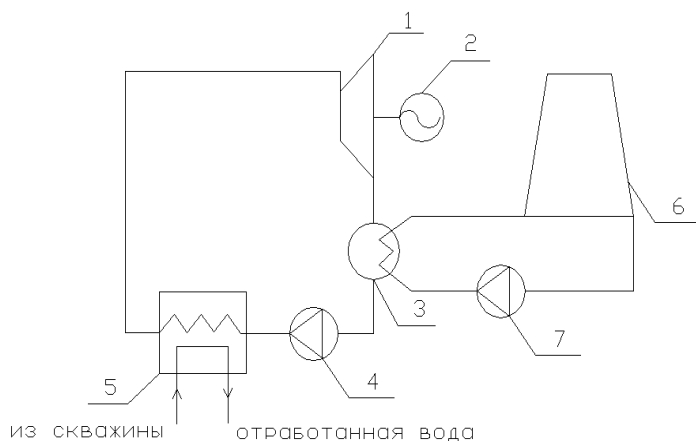


Рис. 2. Принципиальная схема бинарного цикла ГеоТЭС

- 1 - паровая или газовая турбина, 2 – электрогенератор,  
3 – конденсатор отработанного пара, 4 – насос для перекачки конденсата, 5 – рекуперативный теплообменный аппарат, 6 – градирня, 7 – насос для перекачивания охлаждающей воды

Все четыре российские геотермальные электростанции расположены на территории Камчатки, суммарный электрический потенциал пароводяных терм которой оценивается в 1 ГВт рабочей электрической мощности. Российский потенциал реализован только в размере 80,8 МВт установленной мощности и около 4520 млн. кВт·ч годовой выработки (2004 г.) [5].

Принципиальная схема бинарного цикла геотермальной станции представлена на рис. 2.

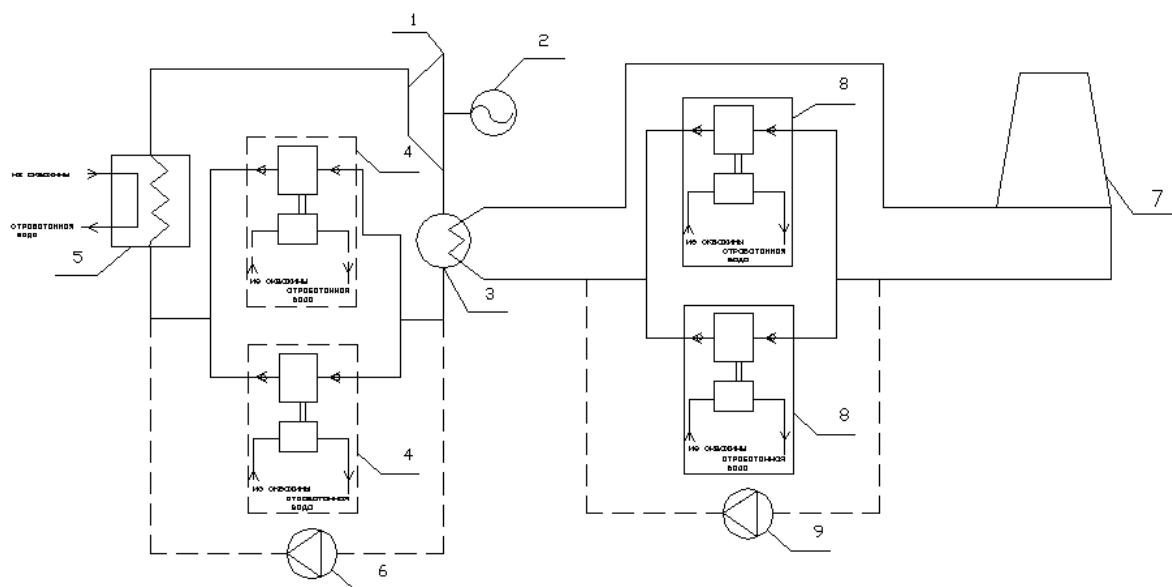


Рис. 3. Схема применения двухфазного пульсационного парогенератора в бинарном цикле ГеоТЭС: 1 - турбина, 2 - электрогенератор, 3 - конденсатор, 4 - НТД для перекачивания конденсата, 5 - рекуперативный теплообменный аппарат, 6 - резервный насос, 7 - градирня, 8 - НТД для перекачивания охлаждаемой воды, 9 - резервный насос

В данной работе предлагаются схемы использования двухфазного пульсационного насоса в качестве устройства, перекачивающего конденсат, и для перекачивания охлаждающей жидкости (рис. 3), либо непосредственно в качестве парогенератора (рис. 4).

Преимуществом данных схем является уменьшение количества электрических насосов, а, следовательно, и затрат на электроэнергию. В первом случае - для перекачивания конденсата, либо для перекачки охлаждаемой воды используется два НТД, включенных в противофазе, но применение электрического насоса необходимо в качестве резервного.

При использовании НТД непосредственно для парогенерации не нужен насос, перекачивающий конденсат, но для бесперебойной работы системы необходимо поставить два парогенератора, работающих в противофазе.

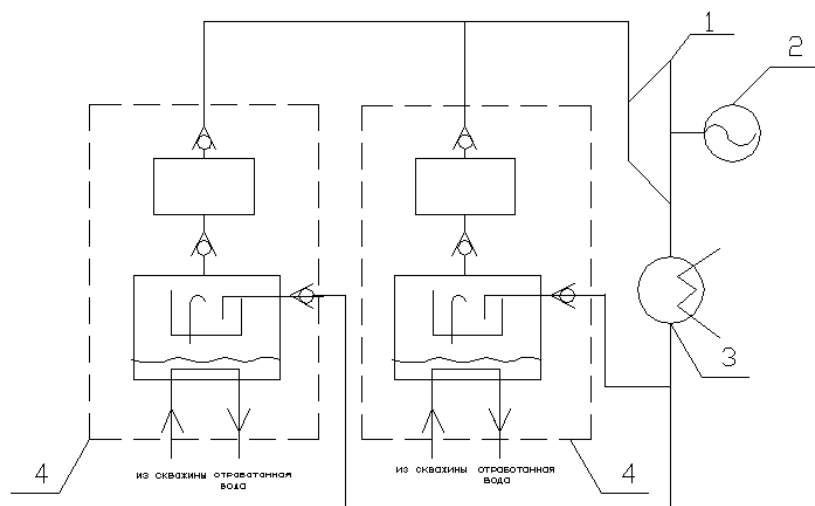


Рис. 4. Схема применения двухфазного пульсационного насоса теплового действия в бинарном цикле ГеоТЭС:  
1 - турбина,  
2 - электрогенератор,  
3 - конденсатор,  
4 - парогенератор

В ходе экспериментов получены результаты, доказывающие эффективность представленной разработки. В настоящее время ведутся работы по увеличению производительности насоса [2]. Например, увеличение температуры среды внешнего контура [3], применение эжекционного устройства для удаления избытков влаги из испарителя после осушения конденсационной полости и др. Итак, внедрение НТД в бинарный цикл ГеоТЭС позволит существенно снизить затраты на электропривод насосов, увеличит надежность системы.

### *Библиографический список*

1. Аверьев В.В., Вакин Е.А., Поляк Б.Г. Перспективы использования подземного тепла вулканических областей // Геотермические исследования и использование тепла Земли. М.: Наука, 1966. С. 273-279.
2. Буй Мань Ту, Сасин В.Я. Экспериментальные исследования элементов насоса теплового действия (НТД) и анализ результатов расчетов по математической модели // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: Тез. докл. Пятнадцатой междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3-х т. М.: МЭИ, 2009. Т. 2. С. 386-387.
3. Буй Мань Ту, Сасин В.Я., Парёхина И.В. Влияние температуры среды внешнего контура на рабочие характеристики насоса теплового действия // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика: Тез. докл. Шестнадцатой междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3-х т. М.: МЭИ, 2010. Т. 2. С. 416-417.
4. Буй Мань Ту, Сасин В.Я., Савченкова Н.М., Парёхина И.В. Экспериментальные и теоретические исследования тепло- и массопереноса в испарителе двухфазного вытеснительного насоса теплового действия // Вестник МЭИ. М.: Изд-во МЭИ, 2009. С. 29-34.
5. Кононов В.И., Сугробов В.М. Геотермальные ресурсы Камчатки, использование и перспективы развития // Тепловое поле Земли и методы его изучения: Сборник научных трудов. М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 2007.
6. Пат. на полезную модель № 2009143627 от 26.11.2009 «Тепломассопередающее устройство».
7. Сасин В.Я., Савченкова Н.М., Буй Мань Ту. Экспериментальные и теоретические исследования тепло- и массопереноса двухфазного вытеснительного насоса теплового действия // 5 РНКТ. Минск, 2010.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ С ГРУНТОВЫМИ ТЕПЛООБМЕННИКАМИ**

*Плеханова Е.С.*

*Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*

Грунтовые теплообменники связывают теплонасосное оборудование с грунтовым массивом. Кроме извлечения теплоты земли, грунтовые теплообменники могут использоваться и для накопления теплоты или холода в грунтовом массиве.

При устройстве в грунте вертикальных или горизонтальных регистров труб (систем сбора низкопотенциальной теплоты грунта) с циркулирующим по ним теплоносителем, имеющем пониженную (повышенную) относительно окружающего грунтового массива температуру, происходит отбор (сброс) тепловой энергии (холода) от грунта и их отвод потребителю.

Грунт поверхностных слоев Земли, в связи с его повсеместной доступностью и достаточно высоким температурным потенциалом, является наиболее

перспективным источником тепловой энергии низкого потенциала для испарителей тепловых насосов [2].

В геолого-климатических условиях России при одинаковой мощности теплового насоса выгоднее устройство вертикального грунтового теплообменника. За счет большего удельного теплосбора ввиду больших температур грунта на глубине ниже зоны сезонных колебаний можно уменьшить количество первичных контуров, отбирающих теплоту земли. Устройство вертикальных грунтовых теплообменников также безопаснее для корней растений, так как уменьшает риск промерзания почвы вблизи отапливаемого с помощью теплового насоса дома. Это особенно важно для условий сельской местности, где имеется приусадебное хозяйство.

На основе изучения опыта внедрения тепловых насосов с грунтовыми теплообменниками в Европе, установлено, что наиболее рациональным вариантом конструкции грунтовых теплообменников по показателям стоимости и надежности являются скважинные вертикальные зонды, состоящие из полиэтиленовых U-образных труб, закладываемые на глубину до 100 м. Одним из преимуществ таких теплообменников является возможность заводской сборки монтируемых в скважину петель, когда после экструзии полиэтиленовых труб их непрерывная длина достигается намоткой петель в катушки, удобные для транспортировки к месту строительства, что делает эту конструкцию предпочтительной для введения в российскую практику.

На практике применяются следующие две конструктивные схемы вертикальных грунтовых теплообменников.

1) «Труба в трубе» - внутри обсадной трубы коаксиально располагается подающая теплоноситель труба, а поток теплоносителя, возвращающийся по межтрубному зазору, отбирает тепло грунта через стенку обсадной трубы. Коаксиальные теплообменники могут быть и более сложных конфигураций.

Для увеличения эффективности теплообменников пространство между стенками скважины и трубами заполняется специальными теплопроводящими материалами.

2) U-образная труба – две параллельные трубы, соединенные в нижней части [3]. По одной ветви теплоноситель подается вниз, а по другой возвращается обратно, при этом теплообмен с грунтом происходит по всей длине трубы, однако из-за меньших диаметров труб (при том же диаметре скважины) поверхность теплообмена получается существенно меньше, чем в предыдущем варианте.

В одной скважине может располагаться несколько U-образных труб (рисунки).

Исследования, проведенные ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» [1], показали, что потребление тепловой энергии из грунтового массива к концу отопительного сезона вызывает вблизи регистра труб системы теплосбора понижение температуры грунта, которое в почвенно-климатических условиях большей части территории РФ не успевает компенсироваться в летний период года, и к началу следующего отопительного сезона грунт выходит с пониженным температурным потенциалом.





Внешний вид двух U-образных вертикальных коллекторов, вмонтированных в одну скважину

Потребление тепловой энергии в течение следующего отопительного сезона вызывает дальнейшее снижение температуры грунта, и к началу третьего отопительного сезона его температурный потенциал еще больше отличается от естественного. И так происходит каждый последующий год эксплуатации теплового насоса. Однако, огибающие кривые теплового влияния многолетней эксплуатации системы теплосбора на

естественный температурный режим грунта имеют ярко выраженный экспоненциальный характер, и к пятому году эксплуатации грунт выходит на новый режим, близкий к периодическому, то есть, начиная с пятого года эксплуатации многолетнее потребление тепловой энергии из грунтового массива системы теплосбора сопровождается периодическими изменениями его температуры.

При проектировании тепловых насосов, использующих грунт в качестве источника теплоты, следует использовать в качестве расчетных параметров температур грунтового массива, ожидаемые на пятый год эксплуатации грунтовой системы теплосбора.

### *Библиографический список*

1. Васильев Г.П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России // АВОК. 2007. № 5. С. 58-68.
2. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии. М.: Москомархитектура, утв. и введ. 31.01.2001. 38 с.
3. Булдакова И.Н. Определение теплопроизводительности вертикального грунтового коллектора теплонасосной установки в климатических условиях Удмуртской Республики / И.Н. Булдакова, Е.В. Корепанов; под общ. ред. В.И. Прохорова, Ю.Я. Кувшинова, Л.М. Махова, Е.В. Троицкой // Сб. докл. третьей Междунар. науч.-техн. конф. М.: МГСУ, 2009. С. 65-67.

## ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СБРОСНОГО ТЕПЛА АЭС НА ОСНОВЕ НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ОТБОРОВ

*Поезжаев А.С., Велькин В.И., Щеклеин С.Е.*

*УрФУ*

*aes1@mail.ustu.ru*

Неизбежный результат работы АЭС – тепловое загрязнение вод. На единицу получаемой энергии здесь оно в 2...2,2 раза больше, чем на ТЭС, где значительно больше тепла отводится в атмосферу. Выработка 1 млн. кВт·ч электроэнергии на ТЭС дает 1,5 км<sup>3</sup> подогретых вод, на АЭС такой же мощности объем подогретых вод достигает 2,5...3 км<sup>3</sup>.

Для электростанции мощностью 1000 МВт требуется пруд-охладитель площадью около 800...900 Га. Пруды могут заменяться гигантскими градирнями с диаметром у основания 100...120 м и высотой, равной 30-этажному зданию.

Российская энергетика имеет уникальную возможность использовать одну из своих национальных особенностей – холодный климат – для снижения затрат на энергообеспечение. Именно холодный климат обеспечивает надежное потребление низкопотенциальной энергии, полученной при производстве тепловой и электрической энергии по комбинированному способу производства.

Известно, что сжигание органического топлива при отдельном производстве электроэнергии на электростанциях и отопительного тепла в водогрейных котельных менее эффективно, чем при их комбинированной выработке теплоэлектроцентралями (ТЭЦ). Объясняется это тем, что при отдельном производстве этих видов энергии высокий потенциал тепла дымовых газов котельных используется только на нагрев воды для сетей теплоснабжения до 120...150 °С, а на электростанциях отработанное низкотемпературное тепло при температуре 30...40 °С сбрасывается из конденсатора турбины через пруд-охладитель или градирню в окружающую среду.

При комбинированной же выработке электро- и теплоэнергии высокий потенциал тепла используется сначала в паровой турбине ТЭЦ для производства электроэнергии, а затем частично отработанный пар отбирается для нагрева отопительной сетевой воды. При такой технологии в окружающую среду сбрасывается минимум тепла отработанного пара, который проходит в конденсатор турбины.

Все сказанное справедливо и при использовании для совместной выработки отопительного тепла и электроэнергии ядерного топлива. Поэтому для экономии углеводородного топлива и уменьшения теплового загрязнения окружающей среды целесообразно строить атомные ТЭЦ (АТЭЦ). Однако в силу высокой капиталоемкости атомных котельных по-прежнему выгоднее будет строить пиковые котельные на органическом топливе.

Но атомная теплофикация уже сегодня технически возможна на основе нерегулируемых отборов для отопительного теплоснабжения части пара из турбин действующих в стране атомных конденсационных электростанций (АКЭС). В европейской части страны на близлежащих к АКЭС территориях

«атомным» теплом можно обеспечивать до 85 % годовой потребности в нем этих территорий.

Однако имеющийся потенциал почти не используется, хотя, по оценкам, с его помощью можно сберегать ежегодно до 2 млрд. кубометров природного газа. Экологическая и экономическая эффективность АКЭС определяется тем, что отбор реакторного тепла для теплоснабжения не превышает трети тепла, отпускаемого потребителям. Остальное достается за счёт уменьшения его сбросов в окружающую среду.

В таблице приводятся ориентировочные расчёты возможного увеличения отопительного теплоснабжения от действующих АКЭС на примере станций с реакторами ВВЭР и БН с оценками возможного сокращения антропогенных выбросов углекислого газа благодаря замещению природного газа ядерным топливом.

АЭС	Кол-во блоков	Мощность теплообменников, МВт	Расчетный потенциал внешнего от пуска тепла, тыс. Гкал/год	Потенциал замещения природного газа млн. м <sup>3</sup>	Потенциал сокращения выбросов СО <sub>2</sub> , тыс. т/год
Балаковская (ВВЭР)	4	914	3500	394	740
Калининская (ВВЭР)	3	419	2020	180	335
Нововоронежская (ВВЭР)	3	249	1050	145	270
Волгодонская (ВВЭР)	2	470	2030	290	530
Кольская (ВВЭР)	3	145	385	54	102
Белоярская (БН)	1		117	16,2	30,5
Всего			9102	1079,2	2007,5

Итого, благодаря использованию для теплоснабжения части тепловой энергии только АКЭС с реакторами ВВЭР и БН потребление природного газа сократится более чем на 1 млрд. м<sup>3</sup>. При экспортной реализации этого объёма по 240 долларов, а не на внутреннем рынке по 80 долларов за 1000 м<sup>3</sup>, выручка «Газпрома» за год может дополнительно составить 172,7 млн. долларов.

Но, чтобы передать потребителям такое количество тепла, в соответствующих регионах потребуется реконструировать теплосетевое хозяйство и построить дополнительные теплосети, подключив их к АКЭС. Конечно, при этом придется компенсировать снижение выработки ими электроэнергии из-за увеличения отбора пара от турбин, что можно будет сделать, построив новые ядерные мощности в регионах, в которых расположены эти АКЭС. В настоящее время ведётся строительство 4-го блока на Белоярской АЭС, 3-го энергоблока на Волгодонской АЭС, 4-го – на Калининской АЭС, нового энергоблока – на Ленинградской АЭС и 5-го – на Балаковской АЭС.

Оптимальное по критериям экономической эффективности соотношение теплофикационной мощности блоков, которые создаются в рамках «АЭС-2010» и общей мощности теплопотребления выбранного района будет, по оценкам, находиться в пределах 40...60 %. Указанное обстоятельство должно быть учте-

но при разработке и реализации проекта «АЭС-2010» для профиля соответствующих паровых турбин.

Стратегия развития атомной энергетики России до 2030 года и на период до 2050 года, одобренная Правительством Российской Федерации, предусматривает к 2020 году выработку тепла атомными энергоисточниками до 30 млн. Гкал/год с годовым замещением потребляемого газа до 24 млрд. м<sup>3</sup>. К 2030 году замещение должно составить до 65 млрд. м<sup>3</sup> в год. Именно такая постановка проблемы сегодня способствует широкому внедрению диверсификации вырабатываемой энергии и активному использованию сбросного тепла.

## **МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА – РЕЗЕРВНЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РЕСУРС СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Полежаев М.В., Попов А.И.  
УрФУ*

На территории Свердловской области имеется более чем 18000 рек, малых ручьев, водовыпусков из водохранилищ и т. п. Для целей энергетического использования и при условии строительства новых плотин ранее предполагалось использовать только семь сравнительно крупных рек области с максимальной единичной гидроэнергетической мощностью ГЭС на них от 2 до 8 МВт.

В настоящее время в Свердловской области функционируют только две ГЭС суммарной мощностью около 9 МВт, а гидроэнергетическая мощность остальных рек и речных потоков не используется. В связи с этим, задействование гидроэнергетических ресурсов малых рек и водотоков для нужд хозяйствующих субъектов области является в настоящее время актуальной задачей.

В результате исследования сотрудниками УрФУ выявлено, что при использовании гидравлической энергии большинства небольших рек и речушек области на всем их протяжении, может быть получено до 600 тыс. кВт электрической энергии, крайне необходимой отдаленным автономным потребителям, лишенным централизованных сетей доставки электроэнергии.

Данное исследование посвящено расчету гидроэнергетических характеристик, уровня валовой мощности и объемов энергопроизводства. Расчет производился численным методом по методике на основании данных по месячным изменениям стоков в створах гидроузлов. Данные по перепадам высот верхнего и нижнего бьефов водоемов принимались по гидроморфологическим характеристикам соответствующих водоемов и их нижних бьефов.

В случае отсутствия детальной гидроморфологической информации использовались паспортные данные гидротехнического сооружения, а в случае их отсутствия, за значение перепада принималась высота плотины за вычетом разницы уровней ФПУ-НПУ.

Результаты представляют собой:

1) Перечень водоемов, расчетные мощности (кВт) и ожидаемая выработка кВт·ч/год, всего по 215 населенным пунктам области.

2) Перечень гидротехнических сооружений, оборудованных донными водотоками (створами).

При строительстве ГЭС стоимость возведения плотин оценивается до 70...80 % от суммы всех затрат на возведение гидроэнергетического сооружения. В связи с этим целесообразно использовать имеющиеся, недостроенные или частично разрушенные гидротехнические сооружения, либо их узлы-водосбросы для оснащения турбинным оборудованием. Всего выявлено в области 46 ГТС, оборудованных донными водотоками, оценена их пропускная способность и приведены основные размеры водосброса.

3) Перечень ГТС с ожидаемым уровнем мощности выше 1000 кВт.

Всего выявлено тринадцать подобных объектов, с которых может быть получена суммарная мощность около 31 МВт и суммарная энергопроизводительность 255 млн кВт·ч/год.

4) Перечень ГТС с ожидаемым уровнем мощности от 100 до 960 кВт. Всего выявлено 63 подобных объекта с ожидаемой суммарной мощностью 22 МВт.

5) Перечни потенциалов гидроресурсов ГТС (мощность, энергопроизводительность и предполагаемые для этого капитальные вложения, тыс. руб.) по рекам: Тура, Исеть, Нейва, Синячиха, Тагил, Серга, Чусовая, Салда, Рефт, Ревда, Сысерть, Сосьва, Бисерть, Каква, Ляля, Пышма.

6) Распределение ожидаемых уровней энергопроизводства, сгруппированных по муниципальным образованиям области. Это позволяет оценить возможности конкретным районам области в использовании своих гидроэнергетических потенциалов. Всего выделено 53 района и муниципальных образований.

7) Распределение ожидаемых уровней водных ресурсов в пределах управленческих округов области, км/год. Учитываются водные ресурсы местные, общие, с учетом границ округа и границы области.

8) Перечень и характеристики ранее существовавших ГЭС на реках Свердловской области.

Всего выявлено 15 объектов, оценено состояние ГТС, для сохранившихся водохранилищ указаны: объем, напор, расход воды и мощность ранее существовавшей ГЭС.

9) Перечень первоочередных малых ГЭС для строительства на территории Свердловской области.

УГТУ-УПИ (ныне УрФУ) инициировал постановление Правительства Свердловской области от 18.08.2004 № 769-ПП о первоочередном строительстве 14 гидроузлов в разных муниципальных образованиях области с предполагаемой мощностью от 50 до 2000 кВт. Первая очередь Киселевского гидроузла (г. Серов, р. Каква) запущена в 2009 г. с миниГЭС на 200 кВт.

В работе, выполненной сотрудниками УрФУ, оценивается возможность и целесообразность массового использования микроГЭС от 1 до 100 кВт на многочисленных реках Свердловской области. С этой целью приводилось сравнение методов плотинного и бесплотинного производства энергии на малых реках. В тех случаях, когда скорость реки мала, для ускорения потока могут быть ис-

пользованы способы уменьшения сечения русла с помощью железобетонных блоков и других искусственных сооружений.

При необходимости сооружения небольшой плотины, могут использоваться более дешевые плотины из сборного железобетона (плотина конструкции И.А.Сулейманова), контрфорсные, ячеистые или ряжевые.

Для удаленных автономных потребителей, когда строительство плотины экономически нецелесообразно, представляет интерес новый класс бесплотинных микроГЭС на основе гирляндных, роторных, шнековых конструкций с диапазоном от 1 до 100 кВт.

Сотрудники Научно-образовательного центра возобновляемой энергетики и кафедры «Атомная энергетика» УрФУ владеют рядом патентов на подобные бесплотинные МГЭС, например:

*Гирляндные гидродвигатели* могут быть установлены на потоках широких и узких (шириной 0,5 м и более), глубоких и мелких (от 0,3 м глубиной и выше), со скоростями течения от 1 м/с и более. Гирлянды на поперечных турбинах располагаются поперек потока и закрепляются между береговыми опорами или на определенной ширине реки с помощью якорных или других опор.

Достоинства поперечных гирляндных МГЭС заключаются в их мобильности, а также в том, что они могут работать на очень малых потоках, в летнее время - на мелководе, перекатах и использовать кинетическую энергию реки по всей ее ширине.

*Роторная турбина* представляет собой вал с насаженными на него на некотором удалении друг от друга дисками, между которыми расположены две или более искривленные лопасти с образующими, параллельными оси вращения. На кафедре «Атомная энергетика» исследованы профили разных подобных гидротурбин. Конструкции с наибольшими КПД запатентованы.

Роторные турбины могут устанавливаться в рамных конструкциях и в многорядном исполнении, в том числе, в безредукторном варианте с контрроторным вращением генератора. Диапазон использования: от единиц Вт для «ручной» микроГЭС для зарядки аккумуляторов радиостанции или телефона и до 100 и более кВт для небольшого поселка.

Разработана также *рукавная деривационная МГЭС* для преобразования энергии потока воды в электрическую или механическую энергию. Устройство содержит корпус с входным конфузуром и выходным диффузором, внутри которого горизонтально расположен ротор с отклоняющимися лопастями. Предусмотрен режим работы с автоматическим раскрытием лопастей в зависимости от изменяющихся объемов, пропускаемых через МГЭС потоков воды.

Получено положительное решение по заявке «*Преобразователь энергии потока*». Данное устройство содержит входной корпус-диффузор с направляющими лопастями и три диска с реактивными лопастями, два из которых вращаются и кинематически связаны с генератором, а третий неподвижный диск расположен между ними и закреплен на корпусе преобразователя. Лопастей входного конуса-диффузора и неподвижного диска имеют одинаковый наклон (крутку) лопастей, а лопасти вращающихся дисков имеют противоположную крутку лопастей. Дополнительный диффузор с обтекателем на выходе уст-

ройства образует отсасывающую трубу в виде расширяющегося кольцевого конуса. Данное техническое решение увеличивает коэффициент использования энергии потока.

*Бесплотинная шнековая гидроэлектростанция*, запатентованная сотрудниками кафедры «Атомная энергетика» УрФУ содержит валы с винтовыми лопастями, образующие шнеки с V-образным расположением их относительно водного потока, причем нижние концы валов объединены через согласующий редуктор, верхний конец одного вала через кардан подключен к генератору, а верхний конец другого вала через упорный подшипник и натяжитель - к упору на противоположном берегу реки или на заякоренном плоту.

Шнеки выполнены в виде конусов с увеличением диаметра винтовых лопастей по направлению потока к нижним концам валов, что увеличивает величину подпора потока воды и отъема от него энергии.

В варианте широкой реки и ограниченных размеров по длине шнеков, последние предполагается располагать зигзагообразно.

Данная конструкция может работать в потоках с низкой скоростью течения от 0,5 м/с.

## **ДВИГАТЕЛИ СТИРЛИНГА В ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

*Проников И.А., Попов А.И.*

*УрФУ*

*pronikov-ivan@rambler.ru*

Двигатель Стирлинга, как устройство для преобразования тепловой энергии в механическую и электрическую известен с 19-го века, однако невысокий уровень технического развития данного направления был связан как с бывшей доступностью к запасам органического топлива, так и с технической сложностью изготовления ряда узлов двигателя.

В настоящее время многие технические сложности преодолены и такого ряда двигатели находят всё больше применения в самых разных отраслях промышленности.

Двигатели Стирлинга хорошо вписываются в идеологию возобновляемой энергетики как окончательное почти универсальное устройство для выработки электроэнергии из разных форм тепловой энергии.

Утилизировать для выработки электроэнергии теплоту сгорания любых органических веществ: природного газа, угля, торфа, дров, в том числе в когенерационном режиме, наиболее целесообразно для удалённых объектов, лишённых централизованных тепловых и электрических сетей.

При наличии термальных горячих источников на местах представляется возможность применить двигатель Стирлинга для получения электроэнергии «напрямую», т. е. без использования паротурбинного цикла.

Солнечная энергия для работы данного двигателя может использоваться в двух вариантах. Это: либо непосредственный нагрев горячего приёмника – радиатора двигателя от сфокусированного лучевого Солнца, что возможно в дневные часы и при малой облачности, либо нагрев, например, с помощью сол-

нечных коллекторов на вакуумных трубках большого объёма жидкости (минерального масла и др.) до высокой температуры в термоаккумуляторах, уже независимо от погодных условий используется для работы двигателя Стирлинга по необходимости.

Похожую схему можно предложить при использовании непостоянной во времени энергии ветра. Тепло, периодически вырабатываемое ветроэнергетической установкой непосредственно или получаемое через преобразование электроэнергии в ТЭНах, также накапливается в термоаккумуляторе для последующего использования двигателем Стирлинга в нужный момент времени.

На многих промышленных предприятиях, особенно металлургических имеются огромные объёмы бросовой тепловой энергии, которая выпускается в атмосферу. Здесь не требуется огромных затрат, чтобы канализировать высокотемпературные потоки и направить их через теплообменники к двигателям Стирлинга для получения собственной и почти дармовой электроэнергии.

Перспективные двигатели такого типа, очевидно, будут работать и при более низких перепадах температур. Например, огромные объёмы стоков городских очистных сооружений даже в зимних условиях при наружной температуре воздуха минус 30...35 °С имеют температуру условно очищенных вод плюс 12...14 °С.

Греют атмосферу также градирни ТЭЦ, АЭС, крупных комбинатов, охлаждая пароводяную смесь. Здесь также как и на стоках очистных сооружений возможна комбинация двигателей Стирлинга совместно с тепловыми насосами. Тепловой насос, охлаждая воду в градирне или стоках, одновременно подаёт более горячую воду потребителям и, при необходимости, на двигатель Стирлинга для параллельной выработки электроэнергии. В летнее время, когда потребность в тепловой энергии уменьшается, двигатели Стирлинга могли бы увеличить выработку электроэнергии.

При использовании двигателей Стирлинга отсутствуют выхлопные газы, шум и вредные выбросы. Даже при использовании ископаемого топлива содержание СО в отработанных газах в 3 раза ниже, чем в ДВС и значительно ниже содержание NO<sub>x</sub> и C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, что соответствует самым жёстким мировым экологическим стандартам.

Ко всему выше сказанному стоит добавить, что в Стирлинге отсутствуют многие сложные элементы привычных ДВС: система зажигания, свечи, карбюратор, клапаны, глушитель и т. д. Отсутствие таких агрегатов позволяет Стирлингу обеспечить недостижимый для других двигателей ресурс в десятки и сотни тысяч часов непрерывной работы.

В настоящее время мировые лидеры в области энергетики активно занимаются разработкой установок на основе двигателей Стирлинга. Так например, американская компания *STM Inc.* имеет работающий агрегат мощностью 52 кВт, моторесурсом в 50 000 часов и КПД 45 %, а национальная лаборатория *Sandia* в штате Нью-Мексико (США) с участием компании *Stirling Energy Systems (SES)* занимаются производством установок преобразования солнечной лучистой энергии в промышленную электрическую с КПД 31,25 % (в то время



как у выпускаемых промышленностью массовых кремниевых фотоэлектрических преобразователей 12-15 %)

У двигателей Стирлинга есть большое будущее и уже сегодня двигатели с внешним подводом тепла имеют право на конкурентное существование

#### *Библиографический список*

1. Уокер М. Двигатель Стирлинга. М.: Машиностроение, 1985.
2. Электронные ресурсы: [www.stirling.ru](http://www.stirling.ru), [www.youtube.com](http://www.youtube.com).
3. Ридер Г., Хупер С. Двигатели Стирлинга / пер. англ. М.: Мир, 1986.

### **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ «ВЭУ-ПЛЭН»**

*Пронин Н.В.*

*Южно-Уральский государственный университет*

*[nikita\\_energy@mail.ru](mailto:nikita_energy@mail.ru)*

Электрическая система отопления «ВЭУ-ПЛЭН» позволяет обогревать помещения при помощи пленочных электронагревателей (ПЛЭНов), используя в качестве источника энергии ветроэнергетическую установку ВЭУ-3 (3 кВт). Принцип работы ПЛЭНов основан на инфракрасном обогреве предметов (пол, стены), которые, в свою очередь, остывая, конвективно отдают тепло воздуху.

Всю систему можно условно разделить на две части:

- 1) ВЭУ-3 – АКБ;
- 2) АКБ – ПЛЭН;

Наличие в системе АКБ играет очень важную роль. Кроме запаса энергии аккумуляторная батарея позволит покрыть пик потребления энергии при запуске системы.

Ветроэнергетическая установка работает на заряд аккумуляторной батареи. Данный участок цепи питания нагрузки реализуется с достаточно большой степенью трудности на базе интеллектуального контроллера, архитектура которого подвергается ряду изменений и доработок. Основываясь на внешних параметрах (ток заряда АКБ, ток нагрузки, мгновенная располагаемая мощность), контроллер должен обеспечивать оптимальную работу системы для возможности обеспечения комфортных условий проживания.

Естественно, что чем лучше будет теплоизолировано (как минимум соответствие СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий и сооружений») здание (помещение), тем меньше будет величина кондуктивных теплопотерь, а, следовательно, минимум потребляемой энергии, как в режиме пуска, так и в рабочем режиме [1, 2]. Поэтому максимальная степень теплоизоляции один из главных факторов высокой эффективности работы системы «ВЭУ-ПЛЭН».

Непосредственно нагрузка (ПЛЭН) питается на напряжении 48 DCV. ПЛЭН разогревается до температуры  $+45^{\circ}\text{C}$ . С поверхностями, температура которых отлична от  $+45^{\circ}\text{C}$ , происходит лучистый теплообмен. В свою очередь, интенсивность такого теплообмена будет зависеть от характеристик и геометрии самих поверхностей, а, именно, степени черноты ( $\varepsilon$ ) и коэффициента облученности ( $\varphi_{1-2}$ ) [3]. Чем больше значение  $\varepsilon$  (не может превышать 1) в инфра-

красном спектре, тем большее количество тепла способна принять поверхность, участвующая в лучистом теплообмене. Коэффициент  $\varphi_{1-2}$  показывает долю лучистого потока, падающего на обогреваемую поверхность, от всего потока, излучаемого элементами отопления. Данный параметр для всех случаев возможного расположения поверхностей в помещении, может быть определен по графическим зависимостям [3], откуда становится понятно, что с увеличением высоты помещения доля теплового потока, приходящаяся на пол, уменьшается, а по отношению к стенам увеличивается.

Отопление помещения с помощью ПЛЭНов не допускает наличия сквозняков. Кроме того, ограждающие конструкции должны обладать максимальной теплоустойчивостью. Теплоустойчивость – это свойство ограждения сохранять относительное постоянство температуры при периодических изменениях тепловых воздействий на его поверхностях [3]. По этой причине, например, не стоит использовать систему «ВЭУ-ПЛЭН» для обогрева помещений с ограждающими конструкциями на основе пенопласта («быстровозводимые» дома).

Использование обычных терморегуляторов может привести к завышению уровня потребляемой энергии, так как они обладают погрешностью регулирования  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . А увеличение установленной температуры на  $1^{\circ}\text{C}$  приводит к завышению потребления энергии на 5 %. Поэтому целесообразно использовать цифровые датчики температуры совместно с микроконтроллерными системами управления. В этом случае погрешность регулирования составляет  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, целесообразно разделять, как минимум, два режима обогрева. Например:

1) Режим энергосбережения ( $12-14^{\circ}\text{C}$ ). Нижняя граница должна быть не ниже точки росы. Такой режим позволит не разморозить помещение и значительно сократить потребление энергии во время отсутствия людей.

2) Режим комфорта ( $19-21^{\circ}\text{C}$ ). За счет высокой динамики за короткий период времени создаются условия, благоприятные для проживания людей.

Переключение между режимами может осуществляться дистанционно посредством GSM – модулей, что повышает привлекательность такой системы для удаленных районов. Кроме того, известно, что при инфракрасном обогреве чувство комфорта достигается при более низких температурах воздуха ( $17-18^{\circ}\text{C}$ ), чем при конвективном способе обогрева [3]. Также инфракрасное тепло высушивает теплоизоляционные материалы, снижает их коэффициент теплопроводности, и как следствие, более низкие потери тепла, чем при конвективном теплообмене [3].

Запуск системы при отрицательных температурах окружающей среды определяет наибольший по значению ( $200 \text{ Вт} / \text{м}^2$ ) и по продолжительности пик потребления энергии, что крайне нежелательно. Систему необходимо запускать при первых устойчивых похолоданиях (лето – начало осени).

Нехватка установленной мощности (при обогреве нескольких помещений) является одной из главных проблем. Предусматривается несколько вариантов решения:

- применение реле отключения неприоритетной нагрузки (некоторые помещения обогреваются по остаточному принципу);
- поочередное включение помещений на равные промежутки времени;
- использование 2-х и более ВЭУ;
- использование ВЭУ большей мощности;
- сопряжение системы «ВЭУ-ПЛЭН» с другими источниками энергии (солнечная батарея, дизель – генератор, электрические сети);
- использование системы «ВЭУ-ПЛЭН» в качестве дополнительного отопления;
- применение АКБ большей емкости;
- снижение как тепловых потерь, так и электрических при преобразовании энергии.

Таким образом, сформулированы основные факторы, соблюдение которых, в значительной степени обусловит наличие комфортных условий проживания при минимальном расходе электроэнергии, полученной от возобновляемого источника. Высокая динамика отопительной системы, ее простота монтажа, доступный альтернативный источник энергии делают систему «ВЭУ-ПЛЭН» широко востребованным продуктом, скорейшая конечная коммерциализация которого является важнейшей задачей.

#### *Библиографический список*

1. Пронин Н.В. Энергосберегающая технология отопления с использованием ветроэнергетических установок// Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009г., научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых / Н.В. Пронин, Е.В. Соломин. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. С. 492-495.
2. Пронин Н.В. Использование ветроэнергетических установок для обеспечения энергосберегающей системы отопления жилых помещений // Альтернативная энергетика и энергосбережение в регионах России: материалы научно-практического семинара / Н.В. Пронин, И.М. Кирпичникова, Е.В. Соломин, И.Н. Панасюк. Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2010. С. 65-69.
3. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В.Н. Богословский. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1982. 415 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И СИСТЕМ СОЛНЕЧНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ**

*Разживина М.А., Михайлишин Е.В.*  
*УрФУ*

*E-mail:mihailishin@mail.ru*

Современные общественные здания - многофункциональные предприятия, которые включают в себя помещения различного назначения. Энергоёмкость инженерного оборудования таких зданий (особенно систем вентиляции и кондиционирования воздуха, определяющих комфортность среды обитания и здоровья людей), а, следовательно, и капитальные затраты для создания микроклимата достаточно большие. При реконструкции таких зданий постройки 20–70-х годов прошлого века с учётом современных требований требуются значи-

тельно большие расходы тепловой и электрической энергии на создание микроклимата по сравнению с первоначальными.

В данной статье на примере гостиницы «Евразия», расположенной в г. Екатеринбурге, рассмотрена возможность применения децентрализованного теплоснабжения на базе крышной котельной и системы солнечного теплоснабжения (ССТ).

Гостиничный комплекс после реконструкции включает одно и двухместные номера на 149 мест, ресторан с банкетным залом, кафе-бар, конференц-залы, салон красоты, оздоровительный центр с фитнес- и тренажерными залами, солярием, сауной, торговые залы, административные помещения. Расчётная тепловая нагрузка после реконструкции гостиницы составляет 1200 кВт, в том числе на отопление 310 кВт, на вентиляцию 720 кВт, на горячее водоснабжение 170 кВт. Расчётная тепловая нагрузка гостиницы до реконструкции составляла 700 кВт.

В данной статье сравниваются три варианта теплоснабжения гостиницы:

1. Централизованное теплоснабжение с устройством индивидуального теплового пункта.
2. Сочетание централизованного теплоснабжения и крышной котельной.
3. Сочетание централизованного теплоснабжения, крышной котельной и системы солнечного теплоснабжения (гелиосистемы) для покрытия тепловой нагрузки на горячее водоснабжение гостиницы.

При реконструкции гостиницы был реализован первый вариант, хотя рассматривалась возможность применения и крышной котельной для удовлетворения всей тепловой нагрузки.

В соответствии с техническими условиями на подключение к тепловым сетям система отопления в первом варианте присоединяется по независимой схеме, а система горячего водоснабжения по закрытой.

О применении и достоинствах крышных котельных написано немало. Сегодня они широко применяются и постепенно, но уверенно завоёвывают рынок.

Разумно и экономически целесообразно сочетание централизованного и автономного теплоснабжения. В данном варианте предлагается тепловую нагрузку на вентиляцию обеспечить за счёт централизованного теплоснабжения, в рамках первоначальных технических условий на подключение к тепловым сетям. Это обеспечит минимальные затраты на реконструкцию теплового пункта, использование высокотемпературного теплоносителя для воздухонагревателей приточных систем и позволило бы отказаться от платы за подключение к тепловым сетям, которая составляет в г. Екатеринбурге 8 838 112 руб. за 1 Гкал/ч без учёта НДС. Стоимость дополнительной тепловой нагрузки 500 кВт для первого варианта составила 3 800 000 руб.

Тепловая нагрузка на отопление и горячее водоснабжение покрывается за счёт крышной котельной. Система отопления присоединяется по зависимой схеме, а горячего водоснабжения - по закрытой. С целью уменьшения суммарной тепловой нагрузки котельной предусматривается аккумулятор горячей воды, что позволяет снизить тепловую нагрузку на горячее водоснабжение с максимальной до средней. В [1] предлагается для этой же цели отпуск теплоты в

системы отопления и горячего водоснабжения осуществлять по режиму связанного регулирования, т. е. при водоразборах выше средней величины снижается отпуск теплоты на отопление, а в ночные часы системе отопления возвращается недоданное количество теплоты. Применение аккумулятора позволяет упростить автоматизацию котельной, повысить комфортность в обслуживаемых помещениях, обеспечить постоянный гидравлический режим котельной.

В последние годы интерес к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в т. ч. солнечной, в связи с постоянным ростом стоимости энергоресурсов растёт. В условиях Свердловской области перспективным может стать применение солнечной энергии для горячего водоснабжения. В [2] показано, что месячная выработка энергии солнечным коллектором в г. Екатеринбург за период с апреля по сентябрь сопоставима с выработкой энергии солнечным коллектором в г. Волгограде за период с апреля по октябрь и её достаточно для обеспечения значительной части тепловой нагрузки на горячее водоснабжение. Системы солнечного горячего водоснабжения обладают рядом достоинств, к которым относятся: экономия энергетических ресурсов, экологическая чистота, простота конструкции и надёжность в работе, незначительные эксплуатационные расходы, долговечность, безопасность и увеличение срока службы работы котельного оборудования.

Так как с апреля по сентябрь температура наружного воздуха может быть ниже 0 °С, рассматривалась двухконтурная схема гелиоустановки с насосной циркуляцией с антифризом в коллекторном контуре. Горячая вода для нужд горячего водоснабжения гостиницы может готовиться как в водонагревателе, так и в гелиоустановке. Система оснащается солнечными плоскими коллекторами типа «Сокол-А» производства НПО «Машиностроения» (г. Реутов Московской области). Расчёт гелиоустановки выполнен в соответствии с [3]. При расчёте принято, что степень замещения топлива солнечной энергией составляет 0,5. Общая площадь коллекторов составила 270 м<sup>2</sup> или 142 коллектора.

Крышная котельная принята в блочном исполнении на базе двух котлов серии REX-30 производства Италии с необходимым котельным оборудованием, автоматикой.

Результаты расчёта технико-экономических показателей представлены в таблице. Значение коэффициента экономической эффективности капиталовложений при расчёте приведённых затрат принималось в размере 0,12 год<sup>-1</sup>. Капитальные затраты включают в себя стоимость оборудования и монтажные работы. Расходы по эксплуатации систем включают в себя стоимость энергоресурсов, амортизационные отчисления и годовые издержки по ремонту и обслуживанию систем. Стоимость тепловой энергии от централизованного теплоснабжения составляет 1200 руб./Гкал, газа - 233,47 руб./Гкал.

Экономические показатели сравниваемых вариантов

Поз.	Показатели	Варианты		
		1	2	3
1	Капитальные затраты, руб.	11900000	5640000	8196000
2	Приведённые затраты, руб./год	6553890	2511410	3702670
3	Себестоимость тепловой энергии, руб./Гкал		506	573

Как видно из таблицы, второй вариант по начальным капитальным и приведённым затратам наиболее экономичен, себестоимость выработанной энергии в 2,4 раза ниже стоимости теплоты от централизованного теплоснабжения.

Ориентировочный срок окупаемости дополнительных затрат на сооружение гелиосистемы (при стоимости тепловой энергии от крышной котельной 505 руб./Гкал) – 19 лет. Если принять среднемировую стоимость теплоты 2500 руб./Гкал, то срок окупаемости составит 3,83 года. Основную стоимость гелиоустановки составляют солнечные коллекторы – \$250 за один м<sup>2</sup> коллектора. Снижение этой величины сделает более привлекательным применение гелиосистем в наших широтах.

### *Библиографический список*

1. Технические решения по крышным котельным на природном газе с гелиоустановкой горячего водоснабжения для децентрализованного теплоснабжения зданий. М., 1996. База нормативной документации [Электронный ресурс]: [www.complexdoc.ru](http://www.complexdoc.ru).
2. Матвеев А.В., Щеклеин С.Е., Пахалуев В.М. Оценка энергетической производительности солнечного коллектора с естественной циркуляцией теплоносителя // Электронный научный журнал «Исследовано в России». Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2007/117.pdf>.
3. ВСН 52-86 Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования. М.: Госгражданстрой СССР, 1987.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ПЛАВАТЕЛЬНОМ БАССЕЙНЕ ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Романов С.И.*

*Южно-Уральский государственный университет*

*Leonar7@mail.ru*

Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ) один из крупнейших вузов России. В его составе 38 факультетов, на которых учатся 55 тысяч студентов, работает 5 тысяч преподавателей. ЮУрГУ занимает площадь более 300 000 квадратных метров, включая здания и сооружения жилого, производственного, учебного, офисного и спортивного назначения.

Для работоспособности такого университета требуется огромное количество энергии:

- более 38 000 Гкал тепловой энергии;
- более 13 000 000 кВт электрической энергии;
- более 610 000 куб. метров воды;
- более 1350 000 куб. метров газа.

Энерго- и теплоснабжение учебных корпусов и общежитий обеспечивается собственной электростанцией, недавно введенной в эксплуатацию. Однако ее мощности недостаточно для полного обеспечения энергией всех объектов.

Одним из подразделений Южно-Уральского государственного университета является учебно-спортивный комплекс, деятельность которого направлена, прежде всего, на оздоровление и поддержание в хорошей физической форме студентов, сотрудников вуза и других горожан. Плавательный бассейн ком-

плекса работает ежедневно и имеет высокую степень загрузки. Объем воды, выбрасываемой из бассейна, может достигать до  $120 \text{ м}^3$  в сутки. Температура ее на выходе составляет  $21^\circ\text{C}$ .

Задачей наших исследований является решение вопроса утилизации сбросовой воды плавательного бассейна и получение тепловой энергии за счет использования тепловых насосов (ТН).

Был проведен расчет возможной тепловой энергии, получаемой тепловым насосом, в результате которого были получены следующие данные:

- Теплота сгорания газа:  $Q = 31..38 \text{ МДж/м}^3$  – принимаем  $34 \text{ МДж/м}^3$ ;
- Удельная теплоемкость воды:  $C = 4,183 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$ ;
- Объем воды, сливаемый за сутки:  $V = 70...120 \text{ м}^3$  – принимаем  $80 \text{ м}^3$ ;
- Температура воды в бассейне на выходе (сливе):  $T_1 = 21^\circ\text{C}$  ( $294 \text{ K}$ );
- Температура воды в бассейне:  $T_2 = 27^\circ\text{C}$  ( $300 \text{ K}$ );

Цена газа составляет  $2300 \text{ руб.}$  за  $1000 \text{ м}^3$ ;

• Рассчитаем количество энергии, которая затрачивается для подогрева сливной воды бассейна:  $C \cdot m \cdot (T_1 - T) + L$ , где  $T$  – температура, до которой возможно охладить воду в емкости, а  $L$  – работа, производимая насосом

С учетом того, что за день сливается в среднем  $80 \text{ м}^3$ , рекомендуем к установке тепловой насос фирмы AUREA 2 типа 120НТ. Мощность такого насоса равна  $6,2 \text{ кВт}$ , при учете температуры на входе и выходе насоса, что соответствует энергии, равной  $22,309 \text{ МДж}$ .

Таким образом получаем:  $4,183 \cdot 80 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot (294 - 275) + 22,903 \cdot 10^6 = 6381,063 \text{ (МДж)}$ .

Экономический эффект от применения данного устройства был рассчитан по экономии газа, который используется в настоящее время для подогрева воды в бассейне. С учетом КПД котла эта экономия составит:

$$6381,063 \text{ МДж} / 34 \text{ МДж} \cdot 0,93 = 201,804 \text{ м}^3$$

Следовательно, каждый день можно экономить  $201,804 \text{ м}^3$  газа, т.е.  $2300 \cdot 0,201 = 462 \text{ руб.}$

При определении срока окупаемости ТН необходимо учитывать расходы на его работу. Продолжительность работы насоса составляет 12 часов в сутки, его уровень загрузки, связанный с неравномерностью режима работы ТН (коэффициент загрузки) равен  $0,7$ . По стоимости электроэнергии и мощности ТН, были определены эксплуатационные расходы (без учета математического ожидания ущерба от аварии, так как ТН недостаточно распространены и их эксплуатационные характеристики неизвестны). Для нашего случая они составляют:

$$12 \cdot 6,2 \cdot 2,2 \cdot 0,7 = 114,576 \text{ руб.}$$

Таким образом, прибыль, получаемая при использовании ТН, в день равна:

$$3_1 - 3_2 = 462 - 114,576 = 347,424 \text{ (руб./день)}$$

Из расчета того, что стоимость ТН определяется  $4500...9000 \text{ руб.}$  на кВт вырабатываемой энергии, и то, что насос фирмы AUREA 2 типа 120НТ вырабатывает  $53,5 \text{ кВт}$ , стоимость ТН составит примерно  $481500 \text{ руб.}$  Бак емкостью  $10 \text{ м}^3$  с термоизоляцией –  $60000 \text{ руб.}$ , АСУ – не дороже  $10000 \text{ руб.}$  Затраты на привод задвижки и трубы не установлены. Затраты на монтаж и наладку определя-

ются 30 % от стоимости оборудования. Тогда общие затраты составят:  $(481500 + 60000 + 10000) \cdot 1,3 = 716950$  руб. Срок окупаемости при этом составит  $716950 / 347,424 = 2064$  дней, или 5,7 лет.

Учитывая, что срок эксплуатации ТН до капитального ремонта составляет 15 лет, полученная в результате эксплуатации прибыль может достигать 1200000 рублей, а постоянно растущие цены на газ только увеличат эффективность применения тепловых насосов.

## ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Савельев Е.Г., Рохлецова Т.Л., Басин А.С.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

(Сибстрин), г. Новосибирск

ESavelev@bk.ru

Главным назначением комплексных районных тепловых станций (КРТС) (рис. 1) должно быть производство тепловой энергии для централизованного теплоснабжения и горячей воды для санитарных домашних потребностей. Основным принципом технологии новых тепловых станций должно быть использование двух видов базового топлива. В качестве первого базового топлива должны использоваться твёрдые бытовые отходы (ТБО), подвозимые ежедневно, и горючие производственные отходы (ГПО). В качестве второго базового топлива должны рассматриваться и использоваться природные источники.

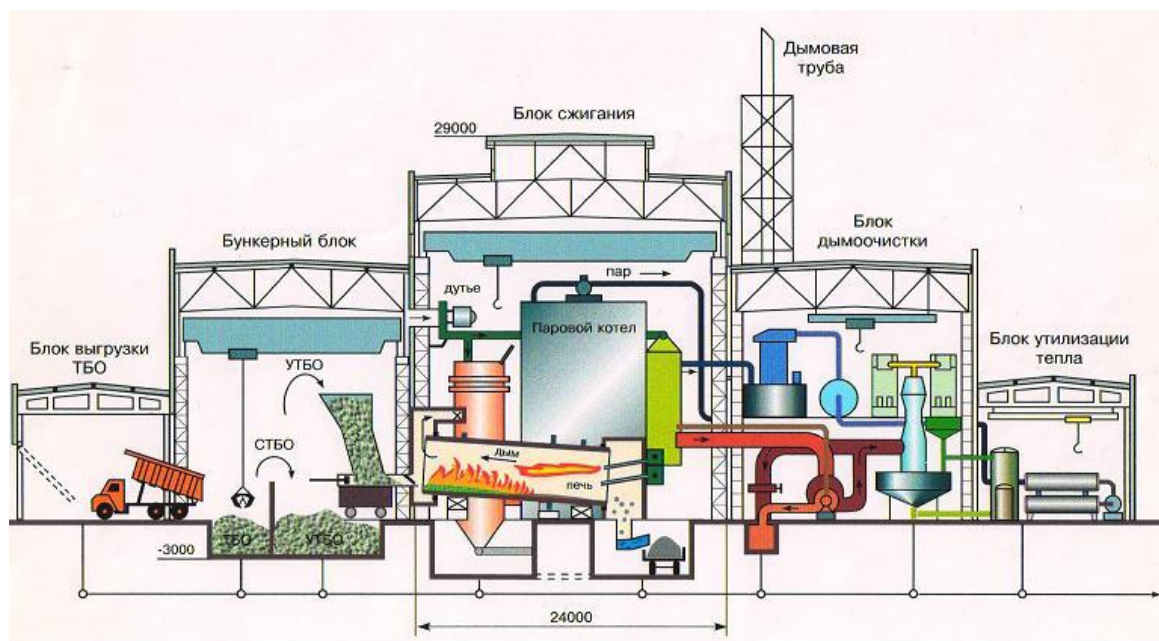


Рис. 1. Основное технологическое оборудование комплексной районной тепловой станции (КРТС)



В основу создания комплексных районных тепловых станций заложены новые принципы, технологические схемы, конструкции оборудования, которые могут быть реализованы на предприятиях России. Конкретный состав и типы оборудования КРТС зависят от места расположения станций, количества отходов, типа природного топлива и задач по энергоснабжению городов.

Очевидно, что предлагаемое решение одной из главных энергетических проблем решает и не менее важные экологические проблемы.

В целом предлагаемые КРТС могут быть отнесены к нетрадиционному виду энергетики городов, в которой используется возобновляемый топливный ресурс. Новизна концепции и проекта заключается в совмещении путей решения теплоэнергетических и экологических проблем городов.

Технологическая схема КРТС (рис. 2) включает в себя систему трехсуточного накопления ТБО и ГПО в бункерах с последующим сжиганием в печах, а особо вредных промышленных отходов – путем их сброса из автомобилей-мусоровозов непосредственно в загрузочные устройства камер сжигания специальных печей. В технологической схеме КРТС предусмотрены паровые котлы-утилизаторы, тепловые насосы и другие устройства, использующие тепло горячих дымовых газов, выходящих из печей. В качестве рабочих камер (топок) печей применены устройства, позволяющие с необходимой эффективностью перерабатывать любые отходы.

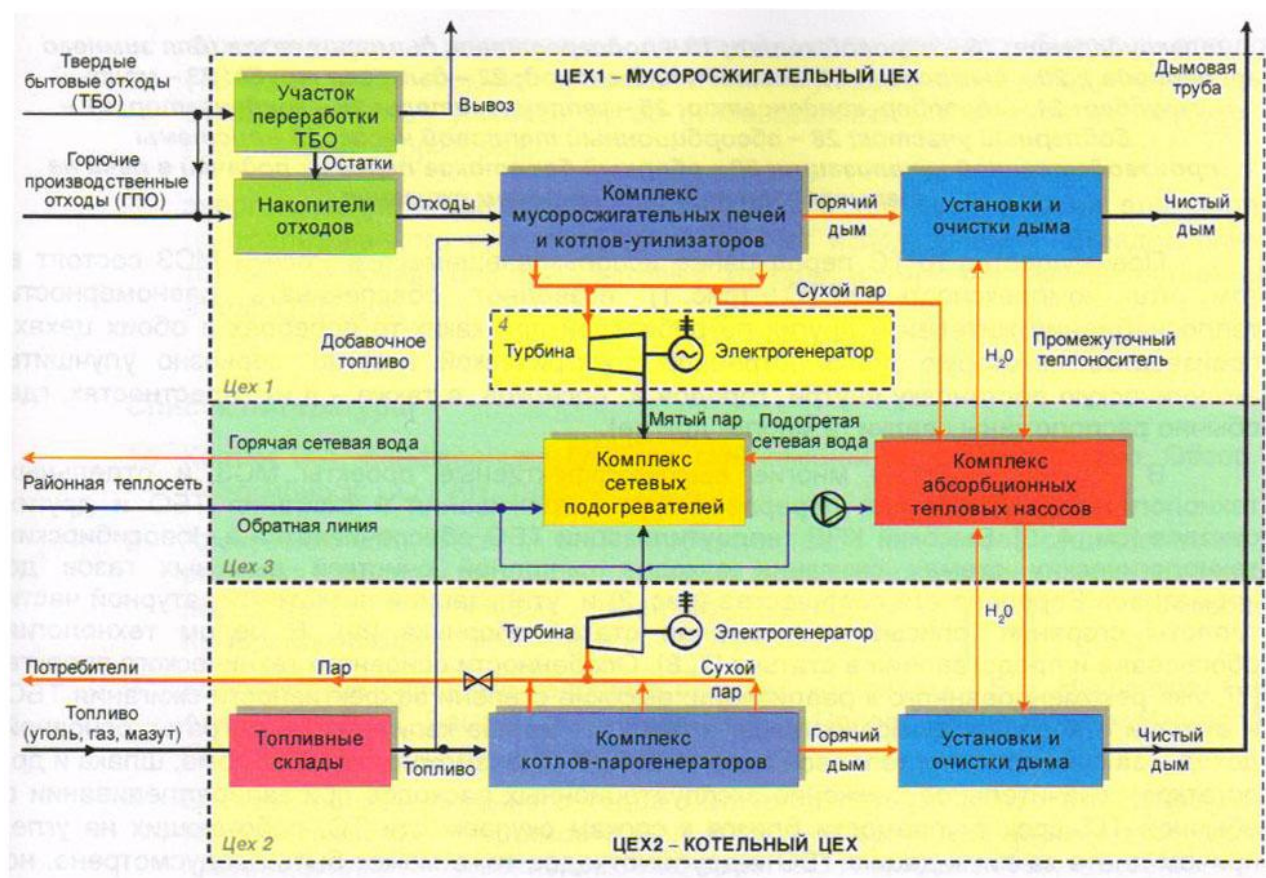


Рис. 2. Технологическая схема КРТС

Использование бытовых и промышленных отходов в качестве основного базового топлива основывается на следующем:

1. Твердые бытовые и промышленные отходы содержат горючие компоненты. Теплотворная способность «свежих» несортированных бытовых отходов составляет 2000 ккал/кг, что всего лишь в три раза ниже теплотворной способности торфа и углей, используемых в коммунальной энергетике. Сортированные ТБО могут иметь теплотворную способность до 3000 ккал/кг.

2. Твердые бытовые отходы «производятся» городским населением в большом количестве: 200...400 кг в год на одного жителя. Сжигание этих отходов в КРТС может обеспечить более 15 % годовой нормы теплопотребления в сибирских условиях. Этот показатель может быть увеличен за счет использования твердых горючих хозяйственных и промышленных отходов.

3. Твердые бытовые отходы являются ЕДИНСТВЕННЫМ топливным ресурсом, постоянно возобновляющимся и постоянно образующимся на любой жилой территории, в любом поселке, районе, городе.

4. Система сбора и транспортировки ТБО в достаточной мере налажена в крупных городах: в региональных центрах и в городах с большим количеством разных заводов.

5. Существует необходимость решения проблем свалок-полигонов для захоронения ТБО и промышленных отходов, а также решения проблем централизованного уничтожения не утилизируемых промышленных отходов.

6. Известны многочисленные технические решения, разработки и действующие установки по сжиганию ТБО и промышленных отходов в целях производства тепла (пара и горячей воды), а также использования твердых остатков термической переработки отходов.

7. Известны технические предложения и отдельные разработки по высокотемпературной схеме сжигания ТБО, позволяющие осуществлять полное уничтожение любых отходов (бытовых и производственных) любых габаритов без какой-либо сортировки и обработки. Такую возможность дает применение плазменных технологий сжигания в печах с жидкошлаковой ванной и жидким шлакоудалением. Полезными продуктами высокотемпературных способов «переработки» ТБО и любых других отходов будут: а) тепло в виде пара и горячей воды; б) плавленный шлак (гранулированный или в виде камнелитых изделий или шлакоблоков); в) черные и цветные металлы в деталях, попавших в отходы. Те же продукты будут получаться при сжигании твердого природного топлива (или его смеси с ТБО) на поверхности жидкошлаковой ванны котлов специальной конструкции.

8. Всё основное оборудование для создания КРТС уже разработано и может быть изготовлено в России, в частности – паровые котлы на твердом топливе, котлы-утилизаторы, плазменные и дуговые электропечи, тепловые насосы – на предприятиях сибирского региона.

9. Проблемы теплоснабжения и уничтожения отходов имеют общее и одинаково значение для всех городов России в целом.

КРТС должны размещаться преимущественно у автомобильных дорог, по которым производится вывоз ТБО из города, с учетом обеспеченности железно-

дорожной веткой для доставки твердого топлива (угля и др.) и санитарно-экологических требований.

Системы очистки дымовых газов из котлов и печей допускают возможность размещения КРТС в непосредственной близости от жилых зон и автомагистралей, по которым ТБО вывозятся за городскую черту.

#### *Библиографический список*

1. Алексеенко С.В., Басин А.С., Багрянцев Г.И., Малахов В.М., Гришин Е.Н., Глушков В.Г. Огневая технология утилизации твёрдых бытовых отходов // Исследования и разработки Сибирского отделения РАН в области энергoeffективных технологий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009.
2. Алексеенко С.В., Басин А.С. Универсальная технология использования твёрдых бытовых отходов в качестве нетрадиционного топлива // Энергосбережение. 2004. № 4. С. 42-50.
3. Басин А. С. К вопросу о человеческом факторе в проблеме теплообеспечения населения сибирских городов // Энергетика: экология, надежность, безопасность. Томск: ТПУ, 1999. С. 6-7.
4. Алексеенко С.В., Басин А.С. Теплобезопасность как основа существования и развития городов и регионов // Экология и экономика: региональные проблемы перехода к устойчивому развитию: Взгляд в XXI век. Кемерово: Кемерововузиздат, 1997. Т. 2. С. 44-47.

### **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В ПАРОТУРБИННОМ КОНТУРЕ АЭС С РЕАКТОРОМ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ**

*Семенов М.Ю., Ковин И.В., Ташлыков О.Л.  
УрФУ*

Среди вопросов оптимизации паротурбинного контура важное место занимает вопрос утилизации сбросной низкопотенциальной теплоты.

Кроме того, тепловое загрязнение окружающей среды является неотъемлемой частью функционирования тепловых станций, в том числе работающих на ядерном топливе. Это приводит к значительным экологическим последствиям, как локального, так и глобального масштаба.

В связи с этим снижение тепловых сбросов, производимых тепловыми электростанциями в целом, и атомными станциями в частности, является достаточно актуальной задачей.

Одним из возможных способов повышения эффективности использования первичной теплоты, выделяемой в активной зоне реактора, а также уменьшения теплового загрязнения АЭС может стать применение теплового насоса в схеме турбоустановки станции.

В представленной работе в качестве возможных источников низкопотенциальной теплоты были исследованы режимы работы и параметры вспомогательных систем реакторного и турбинного отделений энергоблока №3 Белоярской АЭС с реактором БН-600.

Параметры охлаждающих и охлаждаемых сред и оборудования определялись с помощью контрольно-измерительных приборов по месту расположения оборудования, данных ИВС. В случае отсутствия штатных измерительных приборов использовались переносные приборы (например, термощуп ТХ-5.11).

На основании проведенного анализа были выявлены системы, наиболее эффективные с точки зрения утилизации их теплоты (например, система охлаждения масла ПЭН). Тепловая мощность, сбрасываемая с охлаждающей водой из основного конденсатора турбины велика, но неравномерность температуры воды на выходе из конденсатора в течение года, низкое ее значение в осенне-зимний период делают использование тепловых насосов в данном случае экономически невыгодным.

В качестве вариантов утилизации сбрасываемой вспомогательными системами низкопотенциальной теплоты с помощью тепловых насосов можно рассматривать:

- отопление административно-бытовых и производственных зданий АЭС;
- подогрев артезианской воды, используемой для системы отопления и горячего водоснабжения г. Заречного.

В настоящее время используемая система водяного центрального отопления требует при низкой наружной температуре поддержания температуры воды в системе отопления между 70 и 90 °С. Для этих зданий разрабатывается двойная система нагрева, в которой тепловой насос дополняет существующую систему.

Такие двойные системы рентабельны уже при получении от теплового насоса 25...50 % требуемой энергии. Только при низких температурах наружного воздуха включается в работу бойлер. В настоящее время в Германии работают 45 000 подобных тепловых установок. В новых зданиях тепловые насосы должны гарантированно работать в течение всего года [1].

Наиболее эффективно использование при отоплении зданий с помощью тепловых насосов теплых полов. Этот опыт может быть использован при проектировании зданий строящихся и проектируемых энергоблоков АЭС, в том числе БН-800.

Рассмотрена возможность установки тепловых насосов в схему подогрева питьевой артезианской воды для нужд города Заречного. Предполагается установить 3 тепловых насоса по 300 кВт (по одному на петлю). В качестве «холодного» источника используется теплота систем охлаждения ПЭНов и газоохладителей генераторов. Полученная теплота будет использоваться на подогревателях ТУЖ-1.

При этом дополнительно вырабатываемая мощность турбин составит  $N=900$  кВт. Предварительная экономическая оценка показывает, что установка тепловых насосов в данном случае целесообразна. Дополнительная выработка электроэнергии за год составляет 7257600 кВт·ч. Срок окупаемости составляет 4,7 года, при норме от 3 до 5 лет.

В работе также был проведен анализ использования в схеме пароводяного контура АЭС теплового насоса, который будет обеспечивать теплом один из подогревателей низкого давления. При этом тепловой насос будет забирать определенное количество теплоты от охлаждающей воды на входе в основной конденсатор, тем самым снижая тепловые сбросы АЭС.

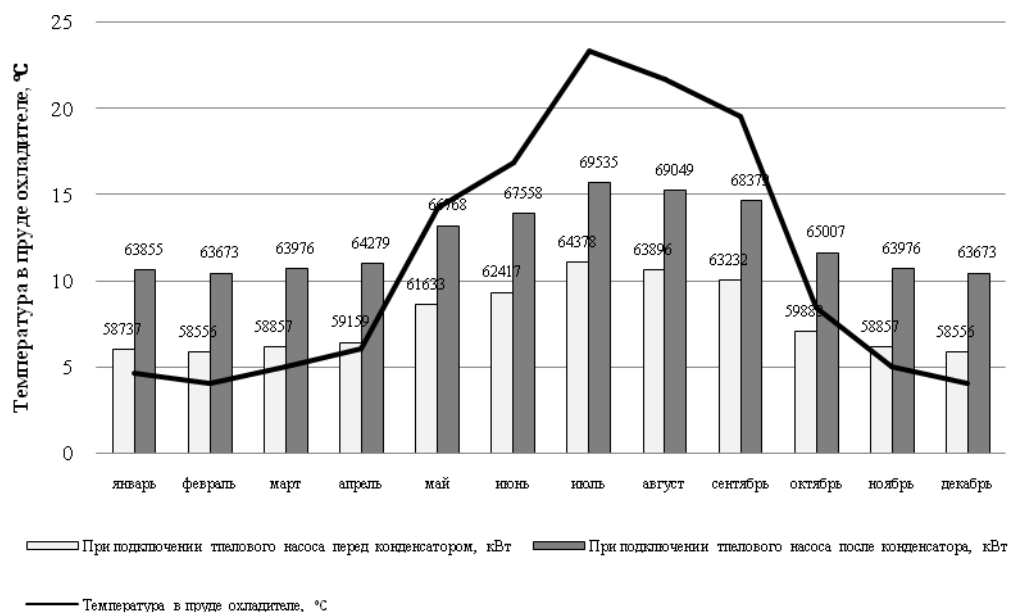
В работе выполнен сравнительный анализ эффективности работы теплового насоса при различных схемах подключения его испарителя:

- к охлаждающей воде на входе в конденсатор;
- к охлаждающей воде на выходе из конденсатора.

В обоих случаях в конечном итоге происходит уменьшение тепловых сбросов в окружающую среду и повышение вырабатываемой мощности блока.

Анализ эффективности применения данной схемы на АЭС с реакторами на быстрых нейтронах проведен применительно к Белоярской АЭС.

Были выполнены расчеты для существующего энергоблока с реактором БН-600, а так же для строящегося блока с реактором БН-800 (рисунок).



Абсолютное уменьшение тепловых сбросов энергоблока с реактором БН-600

На основании приведенных расчетов можно сделать выводы, что применение тепловых насосов в схеме АЭС позволяет уменьшить тепловые сбросы, производимые станцией, и тем самым повысить ее экологичность. Для энергоблока с реактором БН-600 сокращение теплового загрязнения составляет 5...6 %, а с реактором БН-800 – 4,4...5 %.

При этом наиболее экономичным является режим работы теплового насоса, при котором его испаритель подключается к каналу, отводящему охлаждающую воду от конденсатора.

### Библиографический список

1. Данилов Н.И. Основы энергосбережения / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков; под ред. Н.И. Данилова. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 564 с.
2. Семенов М.Ю., Ташлыков О.Л. Анализ эффективности использования тепловых насосов в схеме АЭС с реактором на быстрых нейтронах // Энергетика настоящего и будущего: Сб. материалов I Евразийской выставки и конференции. Ч. 1. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. С. 83-84
3. Семенов М.Ю., Ташлыков О.Л. Анализ эффективности использования тепловых насосов в схеме АЭС с реактором на быстрых нейтронах // Энергетика настоящего и будущего: Сб.

- материалов I Евразийской выставки и конференции. Ч. 2. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. С. 28-30.
4. Ковин И.В., Ташлыков О.Л. Анализ тепловых потерь энергоблока с реактором БН-600 через системы вентиляции и технического водоснабжения // Энергетика настоящего и будущего: Сб. материалов I Евроазиатской выставки и конференции 16-18 февраля 2010 г. Ч. 1. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. С. 67-69.

## **ВЭУ С НАКЛОННЫМИ ЛЕНТОЧНО-ВИНТОВЫМИ ВЕТРОРОТОРАМИ**

*Тимофеев В.М., Станилевич М.А., Щеклеин С.Е.  
ФГУП «НПО автоматики имени Н.А.Семихатова»  
УрФУ*

В 2008 году на ФГУП «НПО автоматики» (НПОА) была создана группа альтернативной энергетики. Первой поставленной задачей стала разработка ветроэнергетической установки (ВЭУ).

Перед разработкой концепции построения ВЭУ были приняты следующие положения:

1. Не повторять известные конструкции: «Лучше остановиться, отойти в сторону и сделать своё, более функциональное» (Н.А. Семихатов), так как имеющимся производителям высококачественных установок чрезвычайно трудно составить конкуренцию, копируя существующие классические конструкции.

2. Простота конструктивного и технологического исполнения.

3. Привязка к существующим возможностям и технологиям.

Тем самым уменьшаются затраты на подготовку производства.

4. Максимальные унификация и модульность построения. Обеспечение серийности, преемственности и идентичности в конструкциях и применяемых технологиях.

Этим упрощается технология сборки и стоимость изготовления.

5. Отказ от применения импортных и дорогостоящих комплектующих взамен на разработку своих, более функциональных и дешёвых.

Это подразумевает отказ от западных технологий и загрузку собственного производства.

6. Применение недефицитных и относительно недорогих качественных материалов и необходимых покупных комплектующих, выпускаемых серийно в России.

7. Формирование собственной ниши на рынке ВЭУ.

Основываясь на вышеприведённых принципах построения работы при создании ветроустановки, а также исходя из результатов предварительных расчётов и испытаний экспериментальных моделей, была разработана концепция конструктивного построения ВЭУ:

- Наклонная ось ветрогенераторов, обеспечивающая возможность модульного построения ВЭУ и унификации конструктивов.

- Применение ленточно-винтового ветрогенератора, обладающего определёнными преимуществами по отношению к традиционным силовым агрегатам.



- Использование винтовых конструкций с целью уменьшения массогабаритных и стоимостных показателей, а также уменьшения трудоёмкости при изготовлении и монтаже ВЭУ.

- Создание мощностного ряда тихоходных электрогенераторов на постоянных магнитах, исходя из максимальной унификации элементов конструкции и основываясь на технологиях НПОА.

- Создание модульной, унифицированной и блочной электроники со встроенными алгоритмами управления ВЭУ.

Таким образом, основой концепции стало применение в качестве силовой установки ленточно-винтового ветроротора установленного на наклонной оси (рисунок).

Приведем основные сравнительные характеристики ленточно-винтового ветроротора по сравнению с классическими конструкциями силовых установок (ветроколесо – пропеллер с горизонтальной осью вращения и ротор Дарье с вертикальной осью вращения) благодаря которым и был выбран данный тип ветропреобразователя:

1. Благодаря непрерывной ленточно-винтовой поверхности данный ротор не создаёт электромагнитные помехи и шум, вызываемые пересечением потока воздуха кромкой лопасти.

2. Более высокий момент вращения заторможенного ротора (стартовый момент), что позволяет применять данный тип ветропреобразователя при слабых ветрах (от 2 м/с).

3. Высокая механическая прочность, обеспеченная непрерывной геомет-



рической формой позволяет максимально облегчить и упростить конструкцию, что в свою очередь уменьшает гироскопический эффект, влияющий на ориентацию ротора, а так же делает возможным применение данного ветроротора при запредельных ветрах, практически без применения механизмов защиты.

4. Сам ветроротор при вращении в потоке воздуха проявляет эффект Магнуса, что при парном расположении ветро-роторов и встречных направлениях их вращения увеличивает КПД использования ветрового потока.

Модуль ВЭУ с наклонными ленточно-винтовым ротором  
в период натурных испытаний

5. Возможно увеличение мощности ротора путём наращивания (без изменения диаметра) его в длину из унифицированных элементов.

6. Геометрически ленточно-винтовой ветроротор представляет собой форму косоугольного геликоида, которая образуется путём растяжения и кручения заготовки, выполненной из плоских сегментов, изготовление которых возможно из листового стеклотекстолита, в то время как лопасти являются сложным элементом аэродинамической формы переменного сечения и их изготовление технологически сложно.

На сегодняшний день на ФГУП «НПО автоматики» создан тихоходный генератор на постоянных магнитах мощностью 350 Вт при скорости вращения 5 об/мин. В разработке находится автоматизированная система электронного управления (АСЭУ) ветроэнергетической установки, позволяющая оптимально загружать ВЭУ в зависимости от скорости ветра и снабжать потребителя качественной электроэнергией.

Таким образом, создаваемая на НПОА ВЭУ с наклонными ленточно-винтовыми роторами, будет являться полноценным энергетическим комплексом, компоненты которого выполнены на основе отечественных материалов и технологий, при минимальной стоимости производства и максимальной конкурентоспособности.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА**

*Токарева Ю.А.*

*УрФУ*

*Yultokareva@gmail.com*

В последние годы во всём мире энергетическое использование древесной биомассы и древесных отходов становится желанной альтернативой традиционным видам топлива. Это связано с тем, что древесные отходы являются  $\text{CO}_2$  – нейтральными, имеют низкое содержание серы, относятся к возобновляемым источникам энергии [4]. Как известно, древесина входит в число возобновляемых ресурсов, однако, сохранение запасов данного материала играет очень важную роль [3].

В Свердловской области на предприятиях лесоперерабатывающего комплекса в среднем образуется до 0,5 млн  $\text{м}^3$  древесных отходов в год (опил, стружка, кора). Годичная лесосека составляет порядка 20 млн  $\text{м}^3$ , из которых по области заготавливается около 8 млн  $\text{м}^3$ . Приняв выход отхода при переработке древесины порядка 50 %, можно считать, что потенциально возможный выход отходов при использовании всей лесосеки по области составит до 4,5 млн  $\text{м}^2$ . Вовлечение древесного топливного потенциала позволило бы поднять долю его использования до 10 % (в 2006 году доля использования древесины составляла 0,4 % - [6]) и снизить выброс образующихся при сжигании мазута и угля оксидов азота на 21...58 %, сажи - на 34...80 %, бенз(а)пирена - на 98,6...99,2 %, а также полностью удалить оксиды ванадия и практически полностью оксиды серы [1]. При средней насыпной плотности отходов в 150...200  $\text{кг}/\text{м}^2$  и теплотворной способности на рабочую массу порядка 10...12,5 МДж/кг



топливный потенциал, доступный для использования оценивается в 0,3...0,4 млн. т у.т [1].

Вторичное использование низкосортных древесных отходов (опилок, стружек, горбыля, обрезков, древесной щепы) направлено на энерго- и ресурсосбережение, создание замкнутых циклов производства. Основными технологиями утилизации древесных отходов являются сжигание и газификация. При газификации перевод твердого топлива в газообразную форму происходит с частичной трансформацией, когда часть химической энергии топлива переходит в химическую энергию газа (а остальная часть за вычетом потерь – в тепловую) [1].

Генераторный газ получается в процессе термохимических превращений твердого топлива в процессе горения при недостатке воздуха по реакции  $C+O_2=CO_2+Q$ , далее  $CO_2+C=2CO-Q$ ,  $C+H_2O=CO+H_2-Q$  с теплотой сгорания 900...1600 ккал/нм<sup>3</sup> [5].

На поддержание процесса газогенерации обычно расходуется 20...27 % органического вещества исходного твердого топлива [6]. Из 1 кг древесной щепы получают около 2,5 нм<sup>3</sup> газа. Химический КПД газификации составляет 65...75 %. Газ имеет температуру 300...600 °С и состоит из горючих ( $CO = 20...30 \%$ ,  $H_2 = 12...17 \%$ ,  $CH_4 = 0,32...3,5 \%$ ), инертных газов ( $CO_2 = 7...12 \%$  и  $N_2 = 45...50 \%$ ), паров воды, твердых примесей и пиролизных смол. В состав последних входят углеводороды различного строения [2].

К настоящему времени разработано большое количество разнообразных методов газификации твердого топлива и конструкций газогенераторов [5]. Однако, в газогенераторных установках получение древесного газа связано с образованием нежелательных продуктов пиролиза, которые необходимо утилизировать или перерабатывать, что повлечет за собой дополнительные расходы. В связи с этим, мы изучили научные разработки по данной теме и особое внимание уделили запатентованному многофазному газогенератору, разработанному коллективом ученых под руководством профессора Рыжкова А.Ф. (УрФУ, теплоэнергетический факультет).

Современные газогенераторы биомассы плотного слоя обращенного типа производят газ с содержанием смол до 1000 мг/м<sup>3</sup> и сажи до 300 мг/м<sup>3</sup>, что на порядок превышает допустимые для ДВС и ГТУ пределы загрязненности. Как правило, используются системы мокрой газоочистки. Кроме указанных загрязнителей в газе содержится до 15 %  $CO_2$ , 15 %  $H_2O$ , 3...7 % газообразных углеводородов [1]. Изменение состава газов и уменьшение количества образующихся примесей возможно при совершенствовании установки для получения генераторного газа с целью минимизации содержания продуктов полного сгорания ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ), углеводородов, смол, сажи и максимально полного преобразования физической теплоты газа в химическую энергию приведет к повышению КПД ТЭС и уходу от сложной системы газоочистки [1].

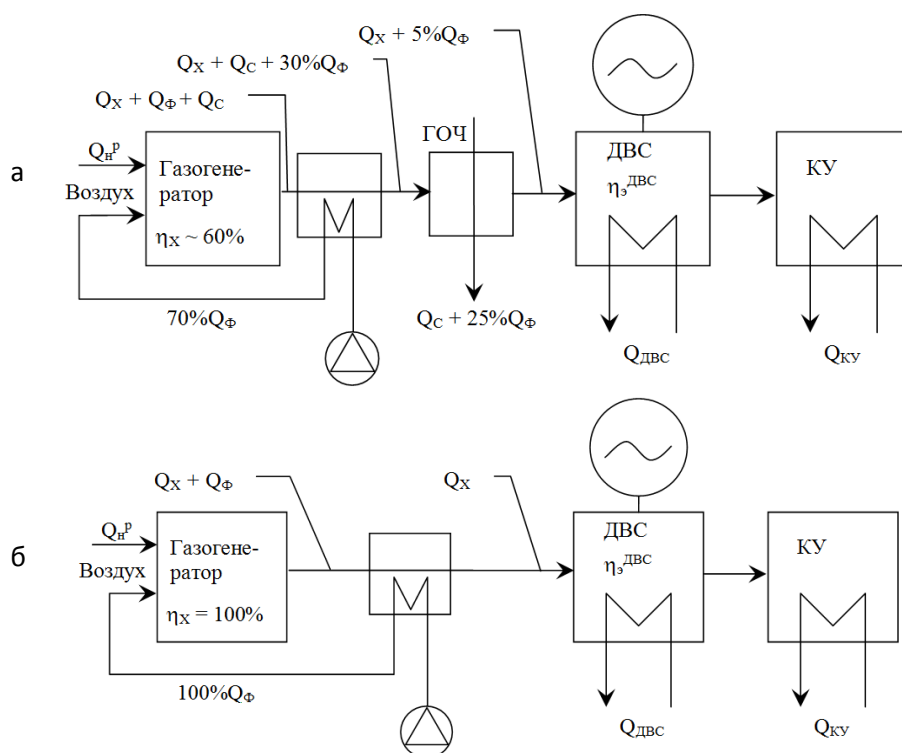


Рис. 1. Малая ТЭС: (а) по типовой и (б) по идеальной схемам; химическая энергия [1]:  $Q_n^P$  – топлива,  $Q_x$  – газа,  $Q_c$  – смол; физическое тепло:  $Q_\phi$  – газа,  $Q_{ДВС}$  – охлаждения ДВС,  $Q_{КУ}$  – охлаждение уходящих газов, ГОХ – газоохлаждение (рекуперация), ГОЧ – газоочистка

Для малых газогенераторных ТЭС наиболее приемлемы газификаторы плотного слоя. В слоевых генераторах уменьшение примесей в генераторном газе уменьшается за счет контролируемой локализации структурных и процессных неоднородностей путем деления процесса на стадии либо в проведении процесса в многокорпусной или многозонной системе.

Древесное топливо характеризуется низкой плотностью  $250 \dots 300 \text{ кг/м}^3$  и теплотворной способностью:  $15 \text{ МДж/кг}$ , высокой влажностью (до  $40 \%$ ), содержанием кислорода ( $\sim 40 \%$ ), летучих ( $85 \%$ ) и возгоняющихся при относительно низких температурах компонентов минеральной части (Na, K, Cl).

В реальном газогенераторном процессе топливо подвергается пиролизу с образованием коксового остатка, смол, простых газов и пирогенетической влаги. Газообразные и смолистые компоненты преобразуются в форму горючих газов на  $80 \dots 99 \%$  в зависимости от типа генератора. Причем, КПД древесного топлива в традиционных газогенераторах не превышает  $66 \%$ .

В УрФУ разработана и запатентована установка многозонного газификатора среднедисперсного топлива (древесный уголь, пеллеты) мощностью  $15 \text{ кВт}$  по топливу (рис. 2). Оптимальный состав генераторного газа с КПД, примерно равным  $80 \%$ , достигается при расходе воздуха  $160 \text{ м}^3/\text{ч}$  и температуре в зоне горения порядка  $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Потеря теплоты в системе газоочистки составляет примерно  $10 \%$ , потеря с механическим недожогом –  $1 \dots 2 \%$  [1].

Газогенератор производит близкий к идеальному газ, который после сухой очистки может использоваться в ДВС [1].

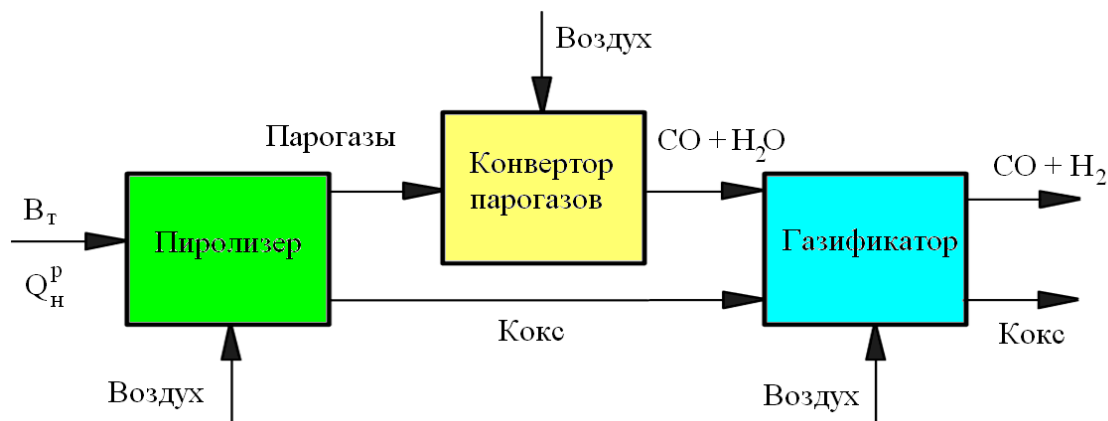


Рис. 2. Структурная схема идеального процесса газификации с декомпозицией;  $V_1$  – подача топлива. Осуществлена в трехзонном ГОП с мощностью 15 кВт по топливу [1].

Получаемый в газогенераторных установках газ может быть использован как топливо в малых энергетических установках, технологических процессах – например в сушильных установках деревообрабатывающих предприятий, транспортных и стационарных силовых машинах.

### Библиографический список

1. Силин В.Е. Совершенствование технологии термохимической подготовки древесного топлива для малых ТЭС: дисс... канд. техн. наук: 05.14.14 (рук. – проф. Рыжков А.Ф.); [Место защиты: Ур. гос. техн. ун-т-УПИ]. Екатеринбург, 2008. 200 с.
2. Немков В.В. Древесина, торф, уголь - полноценная и быстрокупаемая замена бензина, дизтоплива, природного газа. [Электронный ресурс] URL: <http://www.combienergy.ru/stat984.html>.
3. Отходы деревообработки. [Электронный ресурс] URL: [http://ctimbers.com/processing/othody\\_derevoobrabotki.html](http://ctimbers.com/processing/othody_derevoobrabotki.html).
4. Калиновский С.В., Михайловский А.Е. Преимущество технологии газификации твёрдого топлива над технологией сжиганием твёрдого топлива. [Электронный ресурс] URL: [http://www.gazogenerator.ru/articles/articles\\_1.html](http://www.gazogenerator.ru/articles/articles_1.html).
5. Бохан Н.И., Фалюшин Н.И., Ловкис В.Б., Носко В.В. Газогенераторы [Электронный ресурс] URL: <http://sintur.ru/stat/455/>.
6. Вторичная переработка: В энергобалансе России доля древесины составляет менее половины процента. [Электронный ресурс] URL: [http://www.waste.ru/modules/news/article.php?com\\_mode=nest&com\\_order=1&storyid=1160](http://www.waste.ru/modules/news/article.php?com_mode=nest&com_order=1&storyid=1160).

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСЕЛКА

*Усова Г.И., Силин В.Е., Рыжков А.Ф.*

*УрФУ*

*uge87@mail.ru*

Анализируя ситуацию в энергетике Свердловской области, целесообразно пересмотреть подход к использованию местных топлив, особенно в районах, где основным источником энергии являются привозные топлива и имеются обширные площади занятые торфяными полями. Использование энергии торфяной биомассы могло бы решить проблемы с энергоснабжением и значительно снизить затраты на топливо, а также дать возможность получить экономические выгоды от разработки торфяных площадок, переработки торфа и развития машиностроительного и химического комплекса.

Внедрение новых технологий и производств потребует создания дополнительных рабочих мест, высокой квалификации рабочих и инженерных кадров, что, в свою очередь, повысит уровень образования населения и повлияет на образ жизни людей, увеличивается занятость населения области. Использование местных видов топлива является реальным потенциалом по сдерживанию роста тарифов на тепловую и электрическую энергию.

На территории области есть несколько поселков, расположенных вблизи месторождений торфа, одним из таких является поселок городского типа Басьяновский, расположенный в Верхнесалдинском районе. Система централизованного теплоснабжения поселка, в составе которой имеется муниципальная котельная, работающая на торфе, обеспечивает тепловые нагрузки жилых и общественных зданий. В поселке нет собственных источников электроснабжения, питание осуществляется от ПС 110/6/10 кВА, связанной с энергосистемой. Резервного источника нет.

Независимое энергообеспечение поселка может осуществляться от мини-ТЭС, работающей на торфе. Основным поставщиком торфа будет являться торфяное месторождение «Басьяновское», запасы торфа на этом месторождении по предварительным оценкам составляют порядка 15 млн т при условной 40 % влажности и вполне достаточны для предполагаемой станции. В состав сырьевой базы могут быть включены помимо «Басьяновского» торфяные месторождения, находящиеся в непосредственной близости от строительства предлагаемой ТЭС, это: «Кокшаровско-Комбаевское» и «Казачье», суммарные запасы торфа на этих месторождениях составляют около 280 млн т [1].

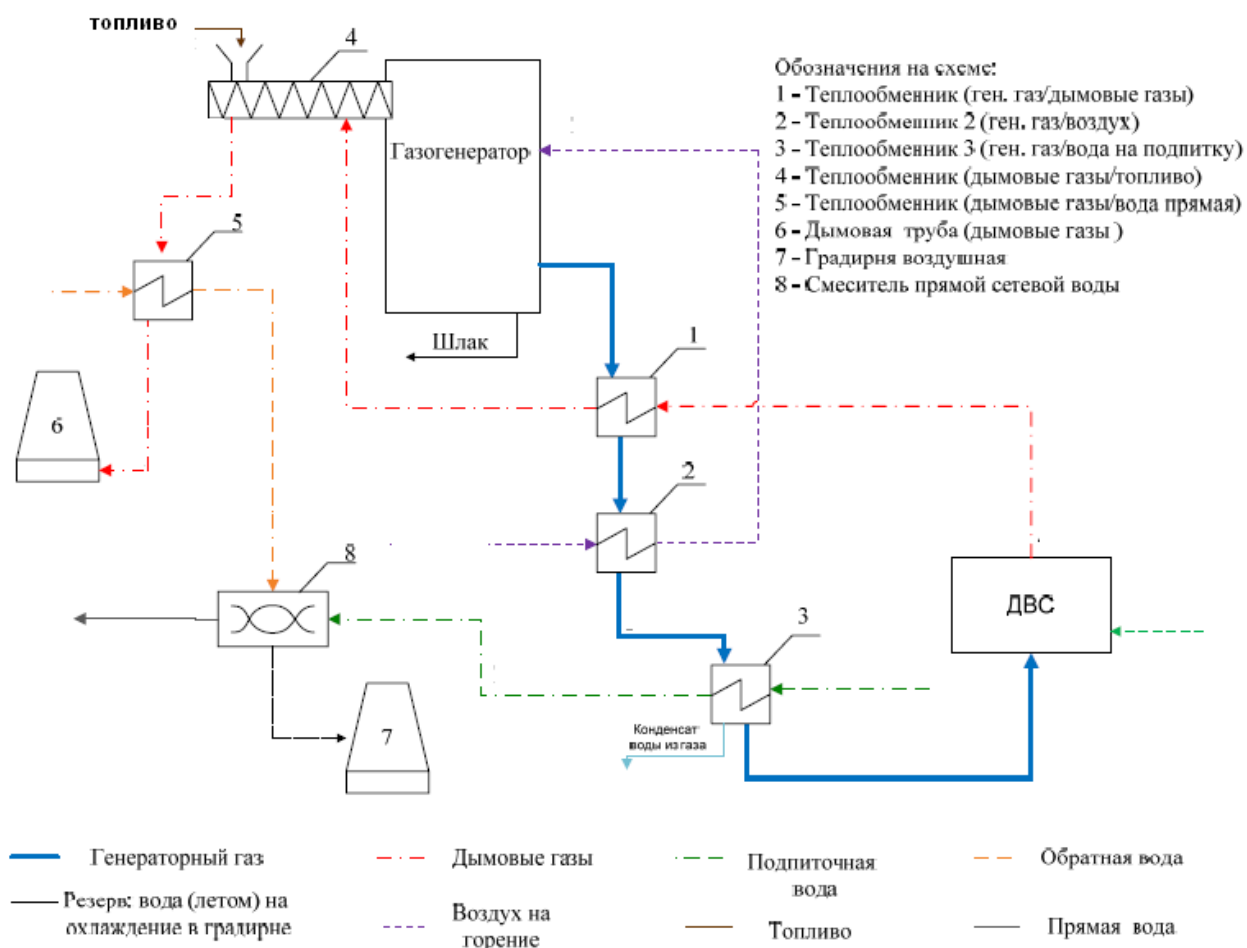
Рассматривать станции большой мощности на торфе в современных условиях не целесообразно, поскольку станция должна находиться вблизи месторождения и необходим потребитель тепла, способный принять такое количество энергии. Учитывая специфику торфодобычи, транспортировка топливного торфа железнодорожным транспортом на плечо 50 км увеличивает стоимость торфа в 2-3 раза (по данным Министерства энергетики и ЖКХ). В районе пос. Басьяновский целесообразно строительство мини-ТЭЦ электрической мощно-

стью 1 МВт (3 МВт – тепловая мощность) для независимого энергообеспечения поселка.

Классические схемы сжигания торфа имеют ряд недостатков, предусматривают предварительную сушку, требующую увеличения капитальных затрат на вспомогательное оборудование, однако не решающую всей проблемы: при сжигании в слоевой топке происходят очень большие потери с механическим недожогом в виде провала. Низкосортные топлива можно предварительно облагородить путем термической обработки, получить коксовый продукт и только затем его сжигать. В этом случае потребуется создание целого комплекса по получению коксового продукта, пригодного для сжигания, поскольку, как показали эксперименты, при облагораживании торфа, бурого угля, древесных отходов получается очень хрупкий продукт, который необходимо подвергать брикетированию. Если это и может быть пригодным для промышленных предприятий, то совсем не соответствует особенностям поселений и хозяйств, где зачастую решающими факторами являются мобильность автономных энергоустановок, их компактность, дешевизна и простота в обслуживании.

Существуют известные, хорошо изученные способы получения газа из твердых топлив. В нашей стране такие газогенераторные технологии пока не нашли широкого распространения в отличие от зарубежных развитых стран. Если в недалеком прошлом такая ситуация могла объясняться отсутствием дефицита природного газа, то сейчас пришло время ограничивать его потребление и обратиться к получению газа из твердых топлив [2]. Для получения чистого газа из низкосортных топлив весьма эффективна двухстадийная газификация. Рассмотрев технологии двухстадийной газификации, применяемые в мире, выбираем следующую технологическую схему. Твердое топливо подается в зону пиролиза и нагревается в ней. Далее оно разлагается на полукокс, состоящий из углерода и золы, и летучие, состоящие из различных газов и смол. Летучие из зоны пиролиза полностью окисляются – происходит реакция горения, на которую подается воздух, температура газов повышается, за счет этого значительно снижется количество смол. Горячие газы из зоны горения и полукокс из пиролизера поступают в зону газификации, где полукокс химически реагирует с продуктами горения ( $H_2O$ ,  $CO_2$  и др.) в результате чего образуются горючие газы ( $H_2$  и  $CO$ ) и примеси  $N_2$ ,  $H_2O$  и  $CO_2$ . Количество смол снижается еще и при прохождении газом через слой угля.

Генераторный газ охлаждается, за счет чего нагревается пиролизер и воздух, подаваемый на горение, а также подпиточная вода для системы ГВС и обратная вода для системы отопления, затем газ очищается, а водяные пары конденсируются. Охлажденный газ подается в ДВС – на выходе получаем горячие дымовые газы и электроэнергию (рисунок).



Структурная схема мини-ТЭЦ электрической мощностью 1 МВт

Выбранная площадка пос. Басьяновский имеет несколько преимуществ для размещения мини-ТЭС на торфе, как для обеспечения коммунального потребителя, так и для производства продуктов глубокой переработки торфа. Выбранная технология двустадийной газификации позволит максимально полно использовать энергетический потенциал торфа, в отличие от технологии прямого его сжигания.

### Библиографический список

1. Торф - богатство Урала. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.midural.ru/midural-new/page\\_oblast2.htm#ques\\_366](http://www.midural.ru/midural-new/page_oblast2.htm#ques_366)
2. Заворин А.С., Казаков А.В., Макеев А.А. Исследование процесса генерации газа в автономных энергетических установках // Теплоэнергетика. 2010. № 1. С. 74-78.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО УРАЛА**

*Филь Н.С.*

*Южно-Уральский государственный университет  
tash\_magic@mail.ru*

Поток солнечного излучения на земную поверхность в зависимости от климатических условий и широты местности, в среднем составляет от 100 до 250 Вт/м<sup>2</sup> в год. Пиковое значение достигается в полдень при ясном небе, практически в любом (независимо от широты) месте и составляет около 1000 Вт/м<sup>2</sup>. В условиях средней полосы России солнечное излучение «приносит» на поверхность земли энергию эквивалентную примерно 100-150 кг у. т./м<sup>2</sup> год. Практическая задача, стоящая перед разработчиками и создателями различного вида солнечных установок, состоит в том, чтобы наиболее эффективно «собрать» этот поток энергии и преобразовать его в нужный вид энергии (теплоту, электроэнергию) при наименьших затратах на установку. Простейшим и наиболее дешевым способом использования солнечной энергии является нагрев бытовой воды в солнечных коллекторах.

На сегодняшний день имеется большое разнообразие солнечных коллекторов, различающихся как по устройству (плоские и вакуумные) так и по принципу работы (термосифонные и системы с принудительной циркуляцией теплоносителя). Для условий Южного Урала наиболее целесообразным является использование вакуумных коллекторов в двухконтурной гелиосистеме.

Солнечный коллектор, используемый в двухконтурной системе теплоснабжения, достаточно усовершенствованное устройство, но для его эффективной работы необходимы энергозатраты на работу насоса. Скорость потока теплоносителя в одном типовом коллекторе обычно не превышает 2 л/мин, поэтому для него достаточно циркуляционного насоса малой мощности. Более мощные циркуляционные насосы нужны в случае объединения нескольких солнечных коллекторов в один контур, или когда циркуляционный насос должен компенсировать потери напора теплоносителя.

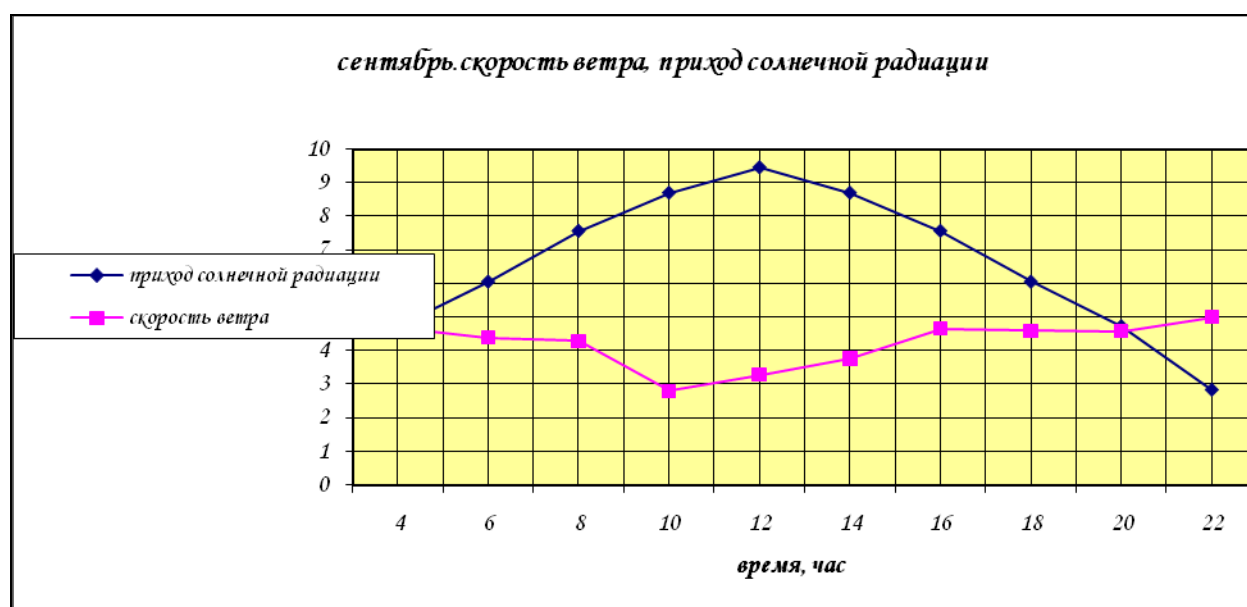
В стандартной гелиосистеме, в большинстве случаев, достаточно установить, например, насос Wilo ST20/6, потребляющий мощность 37 Вт. Питание такого циркуляционного насоса можно осуществлять от другого альтернативного источника энергии - ветроустановки. Предполагается, что совместная работа гибридной ветро-солнечной установки будет автономна и определяться только природными характеристиками - инсоляцией и скоростью ветра в данном районе.

Рассмотрим вариант питания циркуляционного насоса двухконтурной гелиосистемы от ветроустановки производства ООО «ГРЦ-Вертикаль» номинальной мощностью 100 Вт в теплый период года. Инсоляция (приход солнечной радиации на земную поверхность) для этого времени для г. Челябинска приведена в таблице 1 [1].

## Приход солнечной радиации в г. Челябинске

Месяц	май	июнь	июль	август	сентябрь
Приход солнечной радиации Н, МДж/м <sup>2</sup>	17,27	19,93	19,1	14,73	9,47

Солнечная радиация поступает симметрично относительно полудня, т.е. в 12 часов по солнечному времени наблюдается максимальное значение уровня солнечной радиации, а по мере приближения к полудню или удаления от него изменяется соответственно. Так, уровень радиации одинаков в 11 и 13 часов, в 10 и 14 часов и т. д. Для сентября, имеющего продолжительность светового дня 12,5 часов, приход солнечной радиации будет выглядеть следующим образом (рисунок). Ветровая энергия в этот же период представлена на рисунке нижней кривой.



Приход солнечной радиации и скорость ветра (о.е.) в течение суток

Появление ветра, как известно, не зависит от времени суток, поэтому энергия, выработанная ночью, запасается в аккумуляторных батареях. Днем горячей воды требуется больше, коллектор работает в обычном режиме и насос получает питание от ветроустановки. Исходя из характеристик ВЭУ-0,1 (табл. 2) видно, что мощности, вырабатываемой ею, будет достаточно для питания насоса солнечного коллектора.

В период максимальной солнечной активности энергии для работы насоса требуется больше, и она может быть получена от аккумуляторов, как запасенная за ночь. Эта же энергия может использоваться и в период безветрия.



Характеристики ВЭУ-0,1 [2]

Мощность генератора номинальная	0.1 кВт
Выходное напряжение ВЭУ	24 В пост.тока
Скорость ветра номинальная	6 м/с
Коэффициент использования энергии ветра	38%
Стартовая скорость ветра	1 м/сек
Диапазон рабочих скоростей ветра	4.. 20 м/сек
Максимальная допустимая скорость ветра	250 м/с
Диапазон частоты вращения	60-220 об/мин
Номинальная частота вращения	120 об/мин
Количество лопастей	4
Хорда лопасти (длина по горизонтальному разрезу)	300 мм
Диаметр ротора (колеса)	1.5 м
Высота ротора	1.5 м
Ометаемая площадь	2.25 м <sup>2</sup>
Высота мачты	1-2 м
Диапазон рабочих температур воздуха	-50. . . +40 °С
Срок эксплуатации ВЭУ	> 20 лет
Период между тех. обслуживанием	> 5 лет
Масса ВЭУ ориентировочно	50 кг

Несмотря на невысокую инсоляцию в Уральском регионе, использование гибридной ветро-солнечной установки для теплоснабжения объектов может быть достаточно эффективным, особенно в весенне-летний период.

Расчет такой системы с точки зрения энергосбережения показал, что эффективнее эта система будет работать при параллельной работе нескольких солнечных коллекторов.

#### *Библиографический список*

1. <http://chelyabinsk-meteo.ru/>
2. <http://www.src-vertical.com>

## **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА СЫРЬЯ ДЛЯ ТОПЛИВНОГО ЭТАНОЛА**

*Холмаков А.А., Щеклеин С.Е.*

*УрФУ*

Для получения полного представления о количестве энергии, которое возможно получить при переработке того или иного вида сельхоз. культуры, необходимо учитывать затраты энергии на ее производство. Для данной цели необходимо определить удельный расход топлива на производства сельхоз. продукции. Данный параметр имеет размерность литров на гектар (л/га) и учитывает затраты на: пашню, посев (посадку), уход за посевами (боронование и прикатывание посевов, междурядную обработку), уборку урожая (уборка ботвы, уборка корнеплодов) и прочие сельскохозяйственные и агротехнические операции. Вид технологических операций, количество и их последовательность, а, также, рекомендуемая сельхоз. техника, принимаются в соответствии с типовыми технологическими картами возделывания сельскохозяйственных культур. Стоит отметить, что длина гона принимается равной 400...600 м,

удельное сопротивление плуга  $0,55 \text{ кг/см}^3$ , региональный коэффициент 0,96. Таким образом, группа норм для пахотных работ принимается IV.

Расчет ведется для следующих с/х культур: картофель, пшеница, сахарная свекла. Урожайность с/х культур определяется как среднегодовое значение, полученное по сводкам Министерства сельского хозяйства Свердловской области.

Предельный выход спирта из с/х культур составляет: картофель – 110 л/т, пшеница – 400 л/т, сахарная свекла – 510 л/т.

Определяется значение коэффициента  $K_1$ , который представляет собой отношение энергии затраченного моторного топлива к энергии полученного этанола, %. Энергия топлив выражается в МДж/л. Результаты исследования представлены в табл. 1, 2 и на рисунке.

Таблица 1

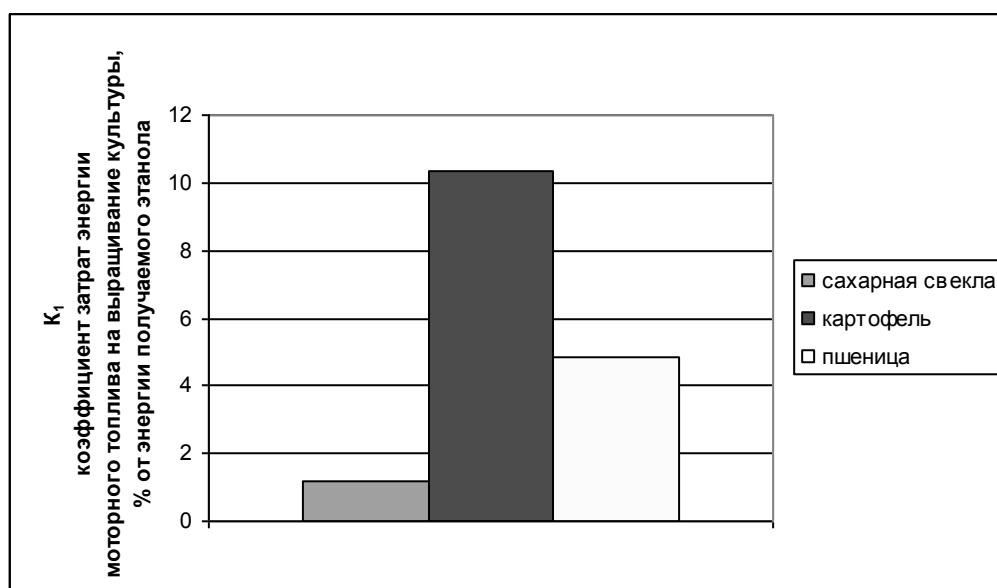
Сводка по основным сельскохозяйственным культурам

Культура	Расход топлива, л/га	Урожайность, т/га	Выход спирта, л/т	Выход спирта, л/га
Картофель	72	19,3	110	2123
Пшеница	51	1,75	400	700
Сахарная свекла	68	16,46	510	8394,6

Таблица 2

Значения коэффициента  $K_1$  для основных с/х культур

Отношение энергии затраченного топлива к энергии полученного этанола $K_1$ , %	
Культура	$K_1$
Картофель	4,83
Пшеница	10,37
Сахарная свекла	1,15



Значение коэффициента  $K_1$  для основных с/х культур

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о высоком энергетическом потенциале получения этанола из основных с/х культур. Наиболее выгодной с этой точки зрения культурой является сахарная свекла, в энергетическом балансе получаемого из нее этанола затраты на возделывание составляют 1,15 %. Даже с учетом того, что в расчете использовались предельные значения выхода этанола, а также не учитывались затраты энергии на транспортировку и технологические цели, которые варьируются в широких пределах, в зависимости от выбранного типа переработки, сахарная свекла остается наиболее перспективным сырьем для получения этанола.

Учитывая, что для конкретного региона, затраты моторного топлива на возделывание определенных культур остаются сравнительно постоянными, можно говорить о потенциале энергии биомассы, в котором уже учтены затраты топлива.

Основываясь на среднем значении урожайности и полученных значениях расхода моторного топлива, производится расчет энергетического потенциала биомассы  $\Pi_1$  для получения этанола в условиях Свердловской области. Значение энергетического потенциала  $\Pi_1$  для основных сельскохозяйственных культур на территории Свердловской области приведены в табл. 3.

Таблица 3

Энергетический потенциал  $\Pi_1$  основных с/х культур  
Свердловской области

Культура	Валовый сбор, т	Энергетический потенциал $\Pi_1$ , ГДж
Картофель	167168	17501
Пшеница	726605	260494
Сахарная свекла	7421	3741

Свердловская область обладает значительным энергетическим потенциалом получения этанола из сельскохозяйственных культур. Исходя из значений коэффициента  $K_1$ , определены три наиболее перспективные культуры – картофель, пшеница, сахарная свекла.

Однако, учитывая валовый сбор этих культур за последние годы, наибольшим потенциалом  $\Pi_1$  обладает пшеница, потенциал годового валового сбора которой превышает более чем в 2 раза потенциал всех разведанных на территории области запасов торфа (порядка 100000 ГДж).

Получение этанола из сельскохозяйственных культур является перспективным направлением использования ресурсов биомассы нашей планеты и может в значительной мере сократить энергетический дефицит, а также улучшить экологическую обстановку.

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

Чащина С.А.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
chashchina\_s@inbox.ru*

Согласно научно-техническим прогнозам на будущее биомасса по-прежнему будет наиболее распространенным энергетическим ресурсом среди существующих возобновляемых источников энергии.

Несмотря на многолетнее применение метантенков и еще более длительный период исследования процесса, протекающего в них, наши представления об основных его закономерностях и механизмах отдельных стадий недостаточны. Существующее положение в ряде случаев определяет низкую эффективность работы биогазовых установок, не позволяет в необходимой степени управлять их работой, приводит к неоправданному завышению строительных объемов, а также к увеличению эксплуатационных затрат и соответственно стоимости 1 м<sup>3</sup> получаемого биогаза. Вследствие этого возникают большие задачи в направлении разработки наиболее эффективных технологических схем биогазовых установок, состава, конструкций и расчетных параметров установок, повышения надежности их работы, снижения сроков и стоимости строительства.

С целью нахождения приемов более эффективного инженерного оформления процесса анаэробной ферментации проводились комплексные исследования различных технологических и конструктивных вариантов утилизации тепла эффлюента на выходе из метантенков.

В данной работе основное внимание уделено вопросам, которые связаны с изучением процесса обогрева метантенка и повышением эффективности работы биогазовой установки.

Совместно со студентами, проходившими научную стажировку в Германии была рассмотрена идея предварительного обогрева нового субстрата, поступающего в ферментер с температурой 12 °С (среднегодовая температура в г. Юлих, Германия), используя тепло отработанного субстрата. В качестве субстрата используется навоз КРС.

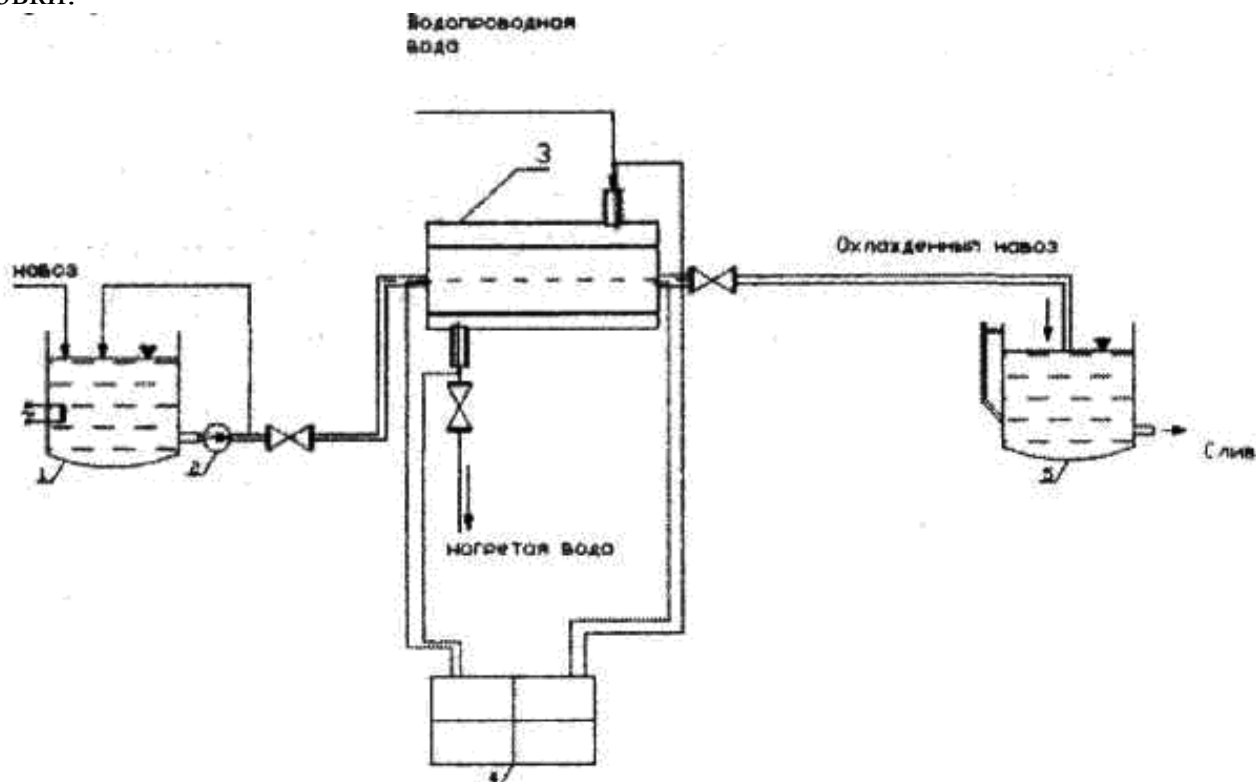
В качестве первого шага были рассмотрены энергетические показатели биогазовой установки в г. Бекуме Германия, которая в настоящее время работает на сахарной свекле. Помимо этого данная установка может работать и на другом виде субстрата, например на пшенице или навозе.

В расчетах было определено количество теплоты, необходимой для поддержания постоянной температуры субстрата и на подогрев нового поступающего сырья.

Вторым и основным шагом было определение коэффициента теплоотдачи субстрата с целью установления качеств навоза как теплоносителя.

Для достижения поставленной цели была разработана модель теплообменника («труба в трубе»), на ней проведены лабораторные исследования процесса теплопередачи при вынужденном движении субстрата по трубе.

На рисунке приведена принципиальная схема экспериментальной установки.



Принципиальная схема экспериментальной установки

Установка состоит из приемного резервуара 1, насоса 2, экспериментального теплообменника 3, измерительного прибора 4 и емкости для измерения расхода навоза 5, а также системы соединительных шлангов. Схема движения теплоносителя противоточная.

На основе полученных в результате опыта данных было определено среднее значение коэффициента теплоотдачи для навоза. Расчет показал, что он примерно составляет  $177,667 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ .

Обычно, при расчетах из-за высокой влажности навоза (92%) его свойства приравниваются к свойствам воды. Для того чтобы, определить, можно ли пользоваться в расчетах коэффициента теплоотдачи уравнениями Нуссельта для воды, был выполнен теоретический расчет коэффициента теплоотдачи для субстрата. Для этого использовалось уравнение Нуссельта для ламинарного течения воды:

$$Nu_e = \sqrt[3]{3,66^3 + 0,644^3 \cdot Pr \cdot \left( Re_{d_i} \cdot \frac{d_i}{l} \right)^{\frac{2}{3}}} \cdot K_T$$

При этом коэффициент теплоотдачи навоза составил  $223,8 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ . Таким образом, расхождение между теоретическим и эмпирическим значениями составила около 21%. Следовательно, это подтверждает, что нельзя использовать уравнение Нуссельта для воды при определении коэффициента теплоотдачи

субстрата. Поэтому в будущем планируется вывести новое уравнение Нуссельта для субстрата и в дальнейшем использовать его в расчетах.

Проведенные исследования показали, что коэффициент теплоотдачи субстрата высок и, целесообразно использовать данный вид теплоносителя для предварительного обогрева поступающего субстрата, используя тепло уже отработанного. Предложенная идея может стать значительным энергосберегающим мероприятием в биогазовой установке.

#### *Библиографический список*

1. Столпнер Е.Б. Биогазовые технологии в Кыргызской республике. Бишкек: изд-во «Евро», 2006.
2. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз: теория и практика / пер. с нем. и предисл. инж. М.И. Серебряного. М.: Колос, 1982.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ ДИРИЖАБЛЯ**

*Чернов Д.А., Горский С.П., Велькин В.И., Щеклеин С.Е.*

*УрФУ*

*[aes1@mail.ustu.ru](mailto:aes1@mail.ustu.ru)*

На заседании Президиума Государственного совета Российской Федерации по инновационному развитию транспортного комплекса от 24.11.2009 г. Президент Российской Федерации Д.А.Медведев высказался о необходимости развития новых технологий, предполагающих внедрение инновационных продукции, услуг и технологий в сфере строительства, реконструкции и эксплуатации транспортной инфраструктуры, а также в производстве современных транспортных средств.

Транспортировка тяжёлых, а также крупногабаритных грузов нестандартных размеров, на большие расстояния, всегда была проблемой, но особенно обострилась в последние десятилетия в связи с разработкой и освоением новых сырьевых месторождений в отдалённых труднодоступных районах страны. Задачи перевозки таких грузов решаются обычно с помощью наземного, водного или воздушного транспорта. Каждый вид транспорта имеет свои ограничения по применению:

- водный транспорт ограничен наличием водных путей и портов погрузки-разгрузки; из портов до места назначения грузы транспортируются другим видом транспорта;

- наземный транспорт ограничен наличием искусственных либо естественных дорог, связывающих место погрузки с местом назначения;

- воздушный транспорт связан с наличием оборудованных аэродромов или подходящих искусственных или естественных посадочных площадок.

Дирижабли - вид транспорта, который не зависит от перечисленных ограничений и позволяет доставлять грузы из любой точки Земли в любое место без смены вида транспорта, промежуточных стоянок и без перегрузки грузов. Их преимущество основано на использовании энергетически малозатратной аэростатической подъёмной силы.

Вес подлежащих перевозке грузов, с использованием современных воздухоплавательных технологий и материалов при создании этих аппаратов, может достигать от 500 до 1000 тонн, с обеспечением возможности их транспортировки на расстояние до нескольких тысяч километров. Для примера: вес корпуса ядерного энергетического реактора (ЯЭР) с толщиной стенки 200 мм составляет 320 тонн. Требования транспортировки по железной дороге ограничивали габариты ЯЭР (диаметр корпуса) и служили препятствием для создания оптимальных, с точки зрения утечки нейтронов, соотношений «высота/диаметр» в ЯЭР большой мощности.

Основными преимуществами дирижаблей являются:

- возможность доставлять груз в неразобранном виде (например, корпус ядерного энергетического реактора или парогенератор от пункта погрузки до конечного пункта назначения без промежуточных перегрузок;
- отказ от дорогостоящих транспортных схем и привлечения служб для обеспечения транспортировки грузов по мостам, через многочисленные коммуникации;
- практически неограниченная дальность (не менее 5000 км) для достижения любой точки земного шара без маршрутных ограничений (наличия дорог, водных путей, аэродромов);
- максимально возможная скорость доставки грузов от изготовителя до потребителя и способность к зависанию над заданной точкой земной поверхности на длительное время (например, для мониторинга, погрузки и разгрузки, монтажа и т.д.);
- отсутствие ограничений по величине и габаритам грузов;
- возможность вести монтажные работы с блочно-модульными конструкциями;
- возможность осуществления погрузочно-разгрузочных работ на неподготовленной площадке или при её полном отсутствии (лес, горы и т.д.);
- возможность работы в любом географическом районе Земли, в любое время года, в любое время суток.

При этом стоимость транспортной операции для дирижабля существенно ниже, чем для вертолётных, выполняющих те же функции, не говоря уже о самолётах, для которых необходимы дорогостоящие взлётно-посадочные полосы и сложная аэродромная инфраструктура, а режим «висения» для последних и вообще невозможен.

Задача, которая в настоящее время решается в Уральском федеральном университете – разработка энергетической системы для маршевой двигательной установки на основе использования возобновляемой энергии – солнечной.

Площадь поверхности гондолы дирижабля составляет от сотен до нескольких тысяч квадратных метров. Боковые и верхняя поверхности летательного аппарата могут быть использованы для нанесения на них фотоэлектрического слоя с целью прямого преобразования солнечной энергии в электрическую.

В соответствии с экспертными оценками около 25-30 % поверхности дирижабля может одновременно участвовать в генерации энергии в течение светового дня.

Расчет солнечной энергии для районов Северного полушария ведётся по следующим зависимостям:

$$\text{для периода октябрь – февраль } \overline{H}/\overline{H}_0 = 0,29 \cos\varphi + 0,49 \overline{n}/\overline{N},$$

для периода март – сентябрь  $\overline{H}/\overline{H}_0 = 0,29 \cos\varphi + 0,45 \overline{n}/\overline{N}$ , где  $\overline{H}$  - усредненная в течение месяца суточная суммарная радиация на горизонтальной поверхности,  $\overline{H}_0$  - внеземная радиация на горизонтальную поверхность в соответствующий день месяца,  $\varphi$  - широта местности,  $\overline{n}$  - усредненная в течение месяца длительность продолжительности солнечного сияния,  $\overline{N}$  - максимально-возможная длительность солнечного сияния в соответствующий день месяца.

На перпендикулярную солнечным лучам поверхность за пределами атмосферы поступает солнечная энергия в количестве:

$$I_0 = 1.353 \text{ кВт} \cdot \text{м} / \text{м}^2.$$

Пересчитаем, условно, сколько энергии поступало бы на горизонтальную поверхность при отсутствии атмосферы.

Прямая радиация на горизонтальную поверхность  $I$  определяется по выражению:

$$I = I_{\perp} (\sin\varphi \times \sin\delta + \cos\varphi \times \cos\delta \times \cos\tau),$$

где  $\varphi$  – широта места,  $\delta$  – склонение,  $\tau$  – часовой угол,  $I_{\perp}$  – прямая радиация на поверхность перпендикулярную солнечным лучам.

Склонение  $\delta$  определяется по выражению

$$\delta = 23,45 \times \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right),$$

где  $n$  – порядковый номер дня в году ( $n = 1$  – 1 января).

Часовой угол  $\tau$  определяется по выражению:

$$\tau = 0,25 \times (\pm \Delta \tau'_a),$$

где  $\Delta \tau'_a$  – количество минут от истинного полдня (определяется по таблицам).

Имея вышеперечисленную информацию и справочные данные по продолжительности солнечного сияния, можно рассчитать поступление солнечной энергии на горизонтальную поверхность практически для всей территории России и определить возможный потенциал электрогенерации за счет поступающей солнечной энергии.

Мощность двигательной установки для дирижабля, не нуждающегося в энергетических затратах на удержание собственной массы и транспортируемого груза в воздушном пространстве, составляет от 10 до 200 кВт. Для обеспечения такой мощности при современном уровне развития солнечных ФЭП (КПД 18...20 %) требуется от 150 до 3000 м<sup>2</sup> площади, покрытой фотоэлектрической пленкой.



Необходимо также учитывать положительный эффект того, что плотность солнечной инсоляции на высотах, превышающих уровень облачности, не зависит от погоды, а отрицательные температуры в верхних слоях атмосферы (от  $-30$  до  $-60$  °С) способствуют реальному повышению КПД ФЭП на 2...3 %.

Все эти факторы указывают на перспективность разрабатываемой двигательной системы дирижабля на основе использования солнечной энергии.

## РАСЧЕТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАГОРОДНОГО ДОМА

Четошников С.А.

Южно-Уральский государственный университет

tchetser@gmail.com

При строительстве загородного дома одной из ключевых задач является снабжение его электрической энергией. Особенно тогда, когда объект находится вдали от линий электропередачи. В этом случае возможны 2 способа решения проблемы: подключение к централизованной сети или создание автономной системы электроснабжения.

В качестве источника энергии для автономной системы могут быть использованы: ветроэнергетические установки, фотоэлектрические батареи, дизельные генераторы или их комбинации.

Автономная система на основе фотоэлектрических батарей в общем случае состоит (рис. 1) из набора солнечных модулей, размещенных на крыше, аккумуляторной батареи (АКБ), контроллера заряда – разряда аккумулятора, соединительных кабелей. Для получения переменного напряжения к комплекту добавляется инвертор - преобразователь постоянного напряжения в переменное.

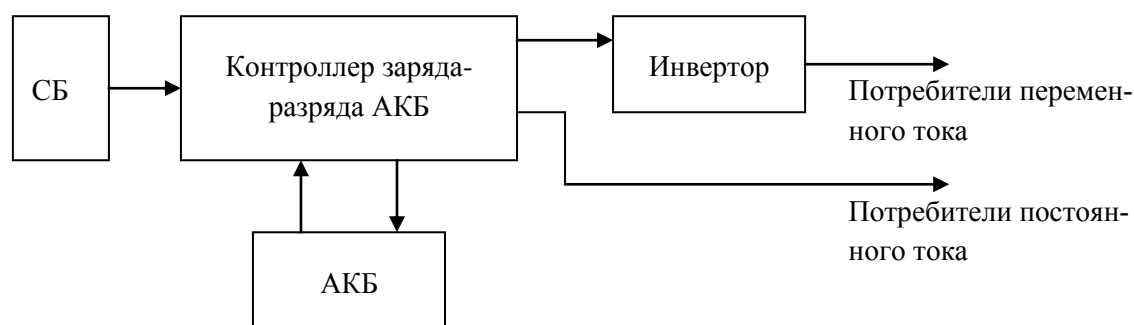


Рис. 1. Структурная схема автономной ФЭС

Расчет фотоэлектрической системы (ФЭС) предполагает определение номинальной мощности модулей, их количества, схемы соединения; выбор типа, условий эксплуатации и емкости АКБ; мощностей инвертора и контроллера заряда-разряда.

Чтобы определить номинальную мощность солнечных модулей, необходимо найти суммарную (расчетную) мощность потребителей электроэнергии.

Таковыми потребителями являются: осветительная нагрузка, электронагревательные и другие бытовые приборы. На рис. 2 показан суточный график нагрузок загородного дома, который был использован для расчета количества солнечных модулей.

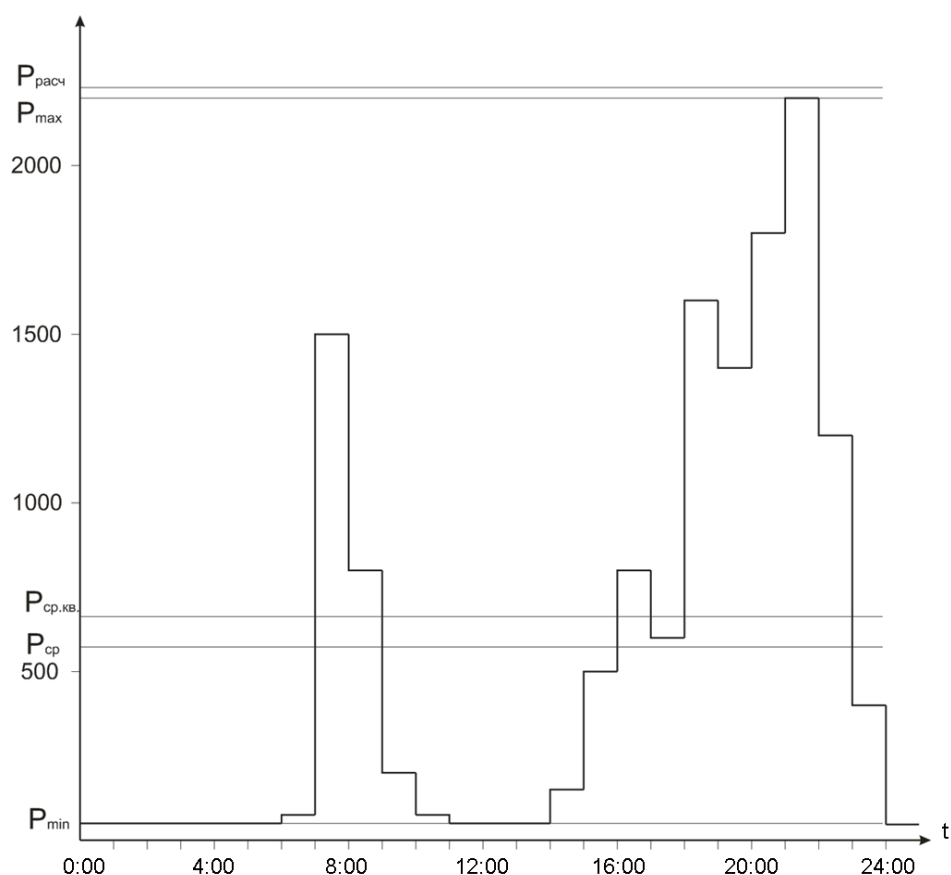


Рис. 2. Суточный график нагрузок потребителя

По графику с помощью формул статистической обработки определяется среднее, среднеквадратичное и расчетное значение мощности.

По таблице данных метеонаблюдений по солнечному излучению определяется среднее значение солнечной инсоляции для данной местности за наиболее солнечный период с апреля по ноябрь.

Исходя из этих данных, вычисляется количество электроэнергии, вырабатываемое одной солнечной батареей площадью  $1 \text{ м}^2$  в течение суток.

Далее, с учетом потребности загородного дома в электроэнергии, определяется количество солнечных батарей, необходимое для электроснабжения дома.

Затем вычисляются параметры других элементов ФЭС (инвертора и аккумуляторных батарей) и выбирается необходимое оборудование [1].

Результаты расчетов параметров ФЭС для загородного дома, расположенного в горно-заводской зоне Челябинской области, приведены в таблице:

## Определение параметров ФЭС

Параметры ФЭС	$P_{\text{расч}}$	$P_{\text{ср}}$
Потребляемая мощность, Вт	2 231,12	572,92
Расчетное потребление энергии, кВт·ч	53,55	13,75
Количество солнечных модулей	177	44
Мощность инвертора, Вт	2788,9	716,15
Емкость АКБ, А·ч	6135,6	1575,5
Приблизительная стоимость ФЭС, руб	~2 800 000	~ 750 000

Расчеты были произведены по средней и расчетной мощности. Из таблицы следует, что параметры ФЭС, вычисленные этими методами, существенно отличаются. Различия объясняются случайным характером нагрузки, что сказывается на появлении погрешностей в расчете. Выбор оборудования по  $P_{\text{расч}}$  ведет к увеличению затрат, а выбор по  $P_{\text{ср}}$  может не обеспечить потребность в электроэнергии при пиковых нагрузках. Следовательно, для выбора наиболее эффективного набора оборудования ФЭС необходим более тщательный подход к анализу графиков нагрузок потребителей и определению расчетной мощности.

### *Библиографический список*

1. Оборудование нетрадиционной и малой энергетики: Справочник-каталог / Министерство топлива и энергетики РФ. М.: АО «Новые и возобновляемые источники энергии», 2000. 167 с.
2. Четошников С.А., Четошникова Е.А. Система автономного электроснабжения загородного дома // Возобновляемые источники энергии: материалы научной молодежной школы с международным участием / под общ. ред. А.А.Соловьева. М.: Университетская книга, 2008. Ч. 2. С. 136-141.

## ГРУНТОВЫЙ ТЕПЛОВОЙ НАСОС ДЛЯ УДАЛЕННОГО ДОМА

*Яковлев А.О., Велькин В.И., Щеклеин С.Е., Тягунов Г.В.  
УрФУ*

Климатические особенности России позволяют эффективно использовать уникальную возможность одной из своих национальных особенностей – холодный климат – для снижения затрат на энергообеспечение. Именно холодный климат обеспечивает надежное потребление низкопотенциальной энергии, распространенной повсеместно в природе, и в частности – в грунте. В условиях постоянного роста тарифов на энергоносители все актуальнее звучит вопрос внедрения энергоэффективных и ресурсосберегающих технологий. Одной из таких технологий является теплонасосное отопление [1], которое может использовать в качестве низкопотенциальной энергии тепло грунта.

В Уральском регионе, имеющем ГСОП (градусо-суток отопительного периода в год) более 6000, любая технология, использующая «дармовую» состав-

ляющую, становится более оправданной в сравнении с другими, менее «жесткими» по градиентам температур, территориями России и зарубежья.

Энергоэффективный дом в пос. Растущем Белоярского района Свердловской области на протяжении ряда лет служит полигоном для отработки технологий и испытаний нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (НВИЭ) в условиях Уральского региона. Очередным этапом в развитии НВИЭ стала разработка проекта и приобретение теплонасосной установки мощностью 5,5 кВт для отопления одной отдельно взятой квартиры (всего в доме 8 квартир) [2].

Основным «трудозатратным» и технологически сложным элементом теплонасосной установки является скважина испарительного канала. Стоимость бурения и обустройства скважины сопоставима, а зачастую и превосходит цену самого теплового насоса. Поэтому, становится актуальной оптимизация схемы теплоснабжения и минимизации общих затрат. Учитывая имеющееся газовое теплоснабжение, было принято решение произвести монтаж теплонасосной системы и применить гибридный тип, использующий одновременно газовое и теплонасосное отопление. Аргументами являются резервирование систем отопления (в случае отказа одной из них), возможность гарантированного покрытия пиковых нагрузок, а также выбор наиболее экономичного сочетания функционирования обеих.

Расчеты показали, что для отопления всей жилой квартиры (250 кв. м) требуется обеспечить «отбор» низкопотенциальной теплоты грунта из двух вертикальных скважин глубиной 56 м каждая.

В качестве рабочего тела в теплонасосной установке предусмотрен рассол «вода-антифриз» 50 : 50, «пропускаемая» через вертикальные зонды в грунте.

Размещение испарительных каналов теплонасосной установки в грунте показано на рис. 1. Подача теплоты по дому осуществляется через трубчатую разводку полов, выполненную из металлопластиковых труб «Unipair» и «Henka».

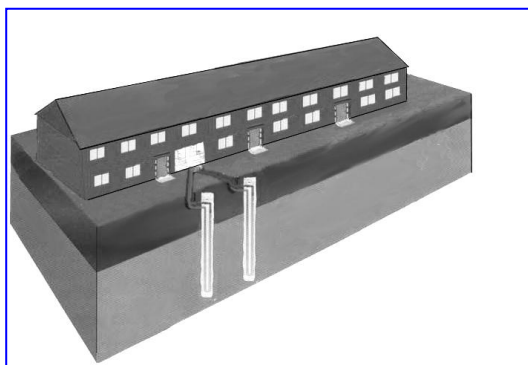


Рис. 1. Схема разреза по линии размещения вертикальных испарительных каналов теплонасосной установки объекта «Энергоэффективный дом» в пос. Растущий

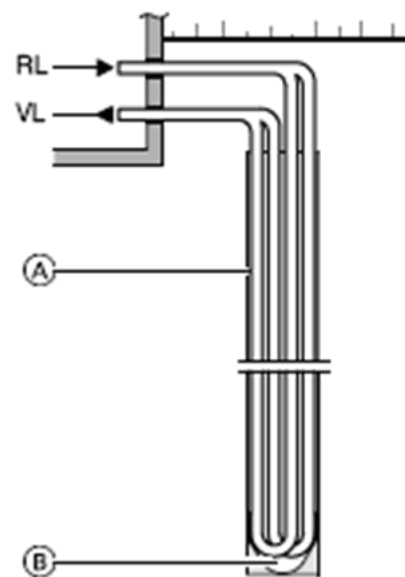
Транспортировка теплонасосной установки непосредственно в помещение дома осуществлялась инициативным способом (рис. 2.)



Рис. 2. Транспортировка теплонасосной установки  
в помещение энергоэффективного дома  
(июль 2010 г.)

Грунтовый зонд представляет собой две двойных U-образных петли полимерного трубопровода, расположенные в скважине расчетной глубины (рис. 3).

Рис. 3. Схема U-образного трубчатого зонда:  
RL-обратный трубопровод рассола,  
VL-подающий трубопровод рассола,  
А- бетоннито-цементная суспензия,  
В – защитная крышка



В верхней части параллельные ветви U-образных труб объединены и соединены с входным и выходным коллекторами – распределителями рассола. Охлажденный рассол перетекает к нижней части зонда по двум ветвям труб, затем обратно возвращается вверх, нагреваясь при этом, и поступает во входной коллектор, а далее - к испарителю теплового насоса. Все промежутки между трубами и грунтом заполняются материалом с хорошей теплопроводностью.

Для сопоставления технических характеристик и экономической эффективности в таблице представлены варианты отопления площади 150 кв. м с применением газового котла, котла на мазуте, электрического котла и теплового насоса.

Технические характеристики	Установка для обогрева помещения			
	Газовый котел	Котел на жидком топливе	Электрический котел	Тепловой насос
Стоимость	Средняя	Средняя	Низкая	Высокая
Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	150	150	150	150
Мощность установки, кВт	15	15	15	15
Расход электрической энергии в час, кВт·ч	0,5	0,8	15	5,0
Источник тепловой энергии	Газ	Диз. топливо	Электр. ток	Тепло земли
Расход энергоносителя в год	4000 м <sup>3</sup>	8500 литров	30000 кВт·ч	Бесплатно
Срок службы	5-10 лет	5-7 лет	5-10 лет	20-30 лет
Пожароопасность	Опасен (постоянный огонь)	Опасен (постоянный огонь)	Опасен	Безопасен
Взрывоопасность	Опасен	Опасен	Опасен	Безопасен
Стоимость агрегата (тыс. руб.)	30,0	20,0	10,0	50,0
Стоимость комплекса монтажных работ (тыс. руб.)	140,0 (с подводящим газопроводом)	25,0 (с системой резервирования)	15,0 (с разводкой эл. системы)	160,0 (с грунтовым зондом)
Уровень экологической опасности	Вреден (выделяет СО и NO <sub>x</sub> )	Вреден (выделяет СО и NO <sub>x</sub> )	Безвреден	Безвреден
Годовые затраты на отопление (тыс. руб.)	15,0	20	65,0	10,0

Из таблицы видно, что применение теплонасосной установки для отопления квартиры в удаленном доме уже сегодня является перспективным и экономически оправданным мероприятием даже с учетом сложного устройства грунтовых зондов.

По мере дальнейшего повышения тарифов окупаемость всей ТН-установки ускорится до 2,5...3 лет.

### *Библиографический список*

1. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. М.: Стройиздат, 1985. 352 с.
2. Откеев А., Гусакова Е.Е., Леонтьева М.В., Велькин В.И., Щеклеин С.Е., Проект теплонасосной установки для энергоэффективного дома в п. Растущий // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сб. материалов Всероссийской студенческой олимпиады, науч.-практ. конф. и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. 17-21 декабря 2007 г. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007.С. 338-340.

## СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ В СИСТЕМЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

*Яковлева Э.В., Абрамович Б.Н.  
Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова  
(технический университет)  
Amilia@mail.ru*

Сегодня возникает необходимость разведывать новые труднодоступные территории, поэтому условия проведения геологоразведочных работ усложняются с каждым днем. Успешное проведение геологоразведочных работ на малоизученных и малоосвоенных территориях усложняется из-за отсутствия централизованного энергоснабжения, а также плохо развитой транспортной и дорожной инфраструктурой. Сейчас основными источниками электроэнергии на таких автономных объектах являются дизельные электростанции, которые имеют некоторые недостатки – зависимость работы агрегата от поставок углеводородного топлива, необходимость периодического их выключения. Альтернативой данному виду энергообеспечения является использование возобновляемых источников электроэнергии – ветра, солнца, попутного нефтяного газа. В данной статье рассмотрена автономная солнечная электростанция, проектируемая для геологоразведочных работ.

Принцип работы электростанции основан на прямом преобразовании солнечного излучения в электричество. Автономная система состоит из набора солнечных модулей (СМ), размещенных на опорной конструкции или на крыше, аккумуляторной батареи (АКБ), контроллера заряда аккумулятора, соединительных кабелей. Если потребителю необходимо иметь переменное напряжение, то к этому комплекту добавляется инвертор.

Солнечные модули представляют собой трехслойные фотоэлементы на основе следующих элементов: галлия-индия-фосфида/галлия-индия-арсенида/германия. Этот элемент был разработан группой немецких ученых во главе с доктором А. В. Беттом в 2009 году [1]. Данный фотоэлемент выбран, так как он обладает наиболее подходящими характеристиками:

- коэффициент полезного действия порядка 40 %,
- рабочий ток равен 0,38 А,
- рабочее напряжение 2,5 В,
- ток короткого замыкания 380 мА,
- напряжение холостого хода 2867 мВ.

Для внедрения электростанции была выбрана Дукатская геологоразведочная экспедиция (ГРЭ), средняя мощность которой, расходуемая на теплоснабжение, составляет 2,7 МВт и 0,65 МВт на энергоснабжение. Покрывать такие мощности фотоэлектрическими станциями нерентабельно. Для примера, понадобится около 3 000 фотоэлектрических модулей, при условии, что фото-модуль вырабатывает 800 Вт при солнечном потоке в районе Магадана, равному 2 кВт на 1 квадратный метр и температуре 25 °С.

Если же обеспечивать электроэнергией, полученной с помощью солнечных электростанций, только контрольно-измерительную аппаратуру, средства управления и подогрева, то это вполне рентабельно. В состав оборудования, входящего в состав Дукальской РГЭ, помимо основных объектов, потребляющих большое количество энергии, также входят:

1) Аппаратура контроля и управления включает в себя контрольно-измерительную аппаратуру *Курс-411* (до 1 кВт), шкаф управления (до 1 кВт) устройство для смазки колонны (1,26 кВт).

2) В буровых установках, где предусматривается подогрев, добавляются еще такие потребители, как обогреваемый подсвечник (2 кВт), шесть электропечей *ТП-10-2* по (1 кВт).

Общая номинальная мощность для крупных установок составляет порядка 12 кВт. Таким образом, чтобы перевести питание автоматики, контроля, управления и безопасности на автономное энергоснабжение, не зависящее от внешней сети, необходимо 16 модулей на основе галлия-индия-фосфида/галлия-индия-арсенида/германия, обладающих 40 %-ным КПД.

### *Библиографический список*

1. Highest efficiency multi-junction solar cell for terrestrial and space application/ A.W. Bett, F. Dimroth, W. Gutter [and others] // Proceedings of the 24<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. Hamburg, Germany, 2009. P. 122-128.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ**

*Ранченкова Е.И., Бирюзова Е.А.,  
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет  
[biryuzova@rambler.ru](mailto:biryuzova@rambler.ru),  
[Catrin-ka@yandex.ru](mailto:Catrin-ka@yandex.ru)*

Теплоизоляционные материалы являются объектом изучения многих отечественных и зарубежных специалистов различных направлений, как исследующих теплотехнические данные материалов для теплоизоляции домов, стен, полов, кузовов легковых и грузовых автомобилей, так и применяющих теплоизоляционные материалы при транспортировке горячих жидкостей и пара, например, для трубопроводов систем теплоснабжения.

Актуальность настоящего исследования определяется тем, что оно посвящено решению проблемы повышения энергоэффективности систем теплоснабжения. В устройстве тепловых сетей очень большое значение имеет тепловая изоляция. От качества теплоизоляционных конструкций зависят не только тепловые потери, но и долговечность, и безаварийность работы. Тепловая изоляция, выполненная из современных качественных теплоизоляционных материалов, может одновременно являться и антикоррозийной защитой поверхности стальных трубопроводов.



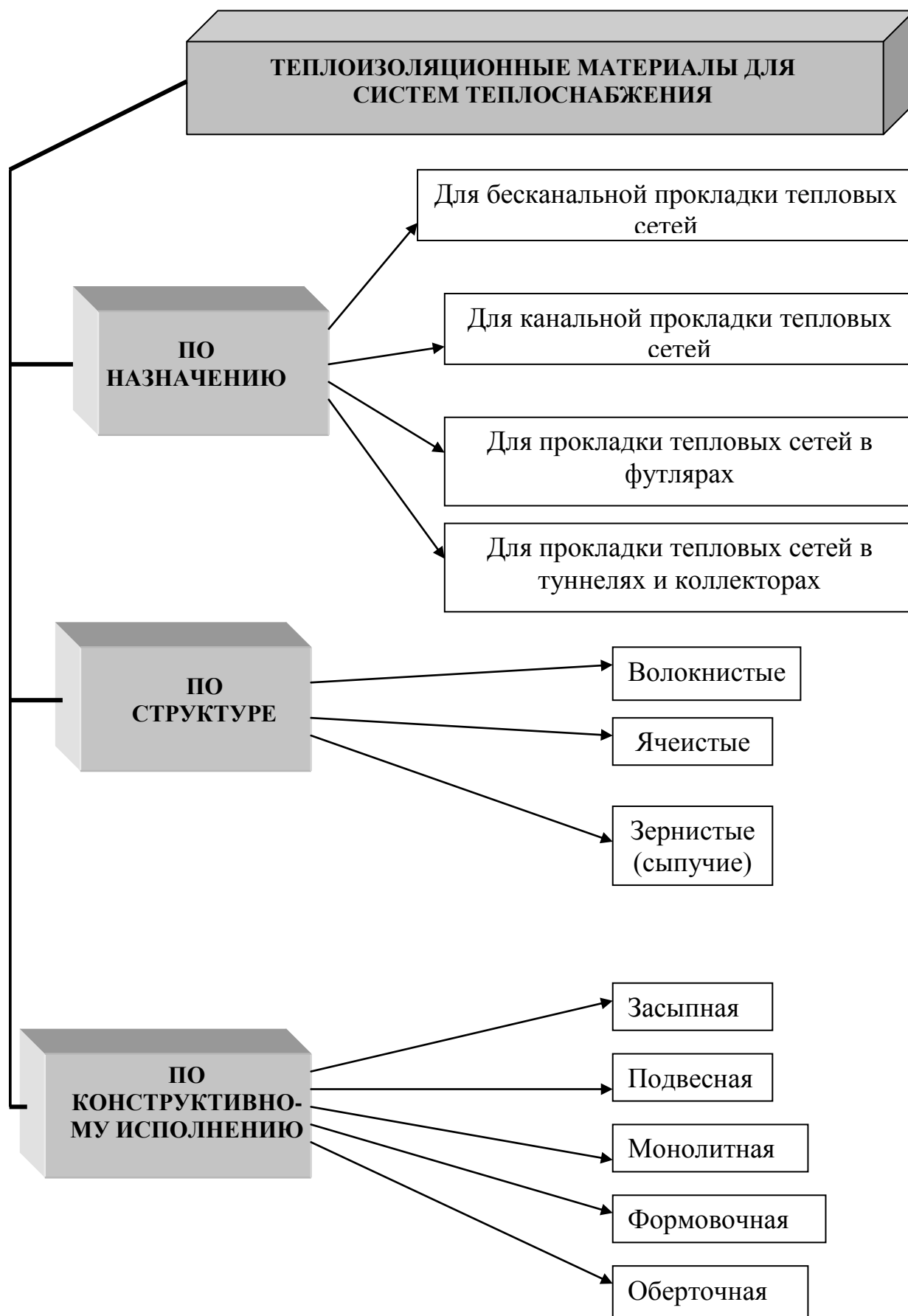
Количество видов теплоизоляционных материалов, представленных на рынке в последние годы, значительно увеличилось. Появились инновационные теплоизоляционные материалы, экономически выгодные, с высокими эксплуатационными характеристиками, а также были созданы технологии по нанесению теплоизоляционных покрытий.

Теплоизоляционные материалы классифицируются по ГОСТ 16381-77 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования» [1] по виду основного исходного сырья; структуре; форме; возгораемости (горючести); содержанию связующего вещества. По виду основного исходного сырья материалы и изделия подразделяются на неорганические (вата, перлит и др.) и органические (изделия пенополистирольные, пенополиуретановые и др.). По структуре – на волокнистые (минеральная, стеклянная, керамическая вата др.), ячеистые (пенополистирол, пенополиуретан и др.) и зернистые, или сыпучие (вспученный перлит). По содержанию связующего вещества материалы и изделия подразделяются на содержащие связующее вещество (войлок, маты и др.) и не содержащие связующее вещество (минеральная, стеклянная, керамическая вата др.). По форме – на рыхлые (вата, перлит и др.), плоские (плиты, маты, войлок и др.), фасонные (цилиндры, полуцилиндры, сегменты и др.), шнуровые. По возгораемости (горючести) подразделяются на негорючие (минеральная, стеклянная, керамическая вата др.), трудногорючие (шнуры, маты и др.) и горючие (пенополистирол, пенополиуретан и др.).

Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования тепловых сетей (рис. 1) применяется при всех способах прокладки независимо от температуры теплоносителя [2]. Материал тепловой изоляции выбирается непосредственно для каждого конкретного случая [3], в зависимости от местных условий, вида теплоносителя и его температурных характеристик, способа прокладки трубопроводов тепловых сетей, материала трубопроводов и др.

Из теплоизоляционных материалов, удовлетворяющих ГОСТ 16381-77, выполняется основной слой теплоизоляционной конструкции. Такого рода конструкции состоят из нескольких слоев [1].

Теплоизоляционная конструкция при **канальной прокладке** трубопроводов состоит из **защитного металлического покрытия** в виде металлической сетки, выполняющей роль несущей конструкции для теплоизоляционного слоя; **покровного слоя** из гидрофобного рулонного материала, например полиэтилена или бризола; теплоизоляционной оболочки от капельной влаги, которая может образоваться на перекрытии и стенках канала и, кроме того, установкой на подвижных и неподвижных опорах прокладок из материалов, обладающих диэлектрическими свойствами, например паронита для электрической изоляции металлического трубопровода от несущей конструкции канала и окружающего грунта [2]; **теплоизоляционного слоя**, выполненного из материала с низким коэффициентом теплопроводности, например минеральной ваты или пеностекла, в виде мягких матов или твердых блоков, укладываемых поверх защитного антикоррозийного слоя, пенополиуретановыми скорлупами (сегментами); **антикоррозийного защитного слоя** в виде наложенных в заводских условиях



Классификация теплоизоляционных материалов, применяемых в системах теплоснабжения

на стальной трубопровод нескольких слоев эмали или изола, имеющих достаточную механическую прочность и обладающих высоким электросопротивлением и необходимой температуростойкостью.

Теплоизоляционная конструкция **при бесканальной прокладке** состоит из сыпного сыпучего теплоизоляционного материала, такого как торф, асфальтоизол и т. п. Теплоизоляционный слой при сборной прокладке состоит из штучных элементов и накладывается на трубопроводы. В литых конструкциях тепловая изоляция выполняется по трассе заливкой раствора из пенобетона, пеносиликата либо расплавленного материала на битумной основе в форму.

Следовательно, очень важно правильно и обоснованно выбрать качественную энергосберегающую теплоизоляционную конструкцию, отвечающую всем необходимым требованиям.

#### *Библиографический список*

1. ГОСТ 16381-77. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования.
2. Козин В.Е. Теплоснабжение: учебное пособие для студентов вузов / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков, И.Б. Пронина, В.А. Слемзин. М.: Высшая школа, 1980. 408 с.
3. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.

# СОДЕРЖАНИЕ

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

<b>Балдин В.Ю., Селезнева И.С., Герасимова Е.С.</b> Опыт проведения и итоги Всероссийской студенческой олимпиады «Энерго- и ресурсосбережение», Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых и Выставки научно-технического творчества студентов «Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» 2009 года.....	5
<b>Бикбулатов С.Р., Данилов Н.И., Попов В.Ю.</b> Теоретико-методические основы формирования прогнозных региональных топливно-энергетических балансов.....	13
<b>Аликин И.В., Моксяков Д.А., Сенокосов М.С., Лобунец О.Д.</b> Разработка программы расчета каскадов измерительных усилителей на транзисторах.....	15
<b>Афанасьев К.Ю.</b> Методы оптимизации теплоснабжения в коттеджном поселке.....	17
<b>Баев В.Р., Суворов Д.М.</b> Эффективность подключения дополнительной тепловой нагрузки при работе теплофикационных паровых турбин по электрическому графику.....	19
<b>Балдин В.Ю., Ярошенко Ю.Г.</b> Повышение энергетической и экологической эффективности извлечения оксидов серы из отходящих металлургических газов.....	22
<b>Балдина Е.В., Котляревская И.В., Балдин В.Ю.</b> Интернет-маркетинг светодиодной продукции УОМЗ.....	25
<b>Барabanова Ю.А., Петрунько Л.А., Ануфриев В.П.</b> Финансирование энергоэффективных проектов.....	29
<b>Бугрин И.С., Денисов М.А.</b> Влияние конструктивных элементов нагревательных печей на энергосбережение.....	32
<b>Булыгин А.А., Климова В.А.</b> Использование завихрителей потока для улучшения характеристик теплообменных аппаратов.....	34
<b>Бурмакина А.В., Морозов И.П.</b> Разработка тепловых схем на основе теории интенсивного энергосбережения с производством дополнительной продукции.....	37
<b>Бушуев А.Н., Картавцев С.В.</b> Исследование проблем энергообеспечения дуговых сталеплавильных печей.....	40
<b>Бушуев А.Н., Картавцев С.В.</b> Разработка вариантов энергообеспечения электросталеплавильного производства.....	42
<b>Ведяскин Е.В.</b> Исследование энергосберегающих режимов нагрева и плавления лома.....	44
<b>Вовненко Н.Э., Морданов С.В., Никулин В.А., Пецура С.С., Сыромятников С.Н., Путилин Ю.В.</b> Исследование теплоотдачи в трубе, снабженной турбулизующей вставкой.....	45
<b>Ворошилова Е.Н., Белоусова О.А., Павлович О.Н.</b> Выбор эффективного метода очистки природного газа от серосодержащих соединений.....	48
<b>Гаврилюк М.Н., Семериков И.С.</b> Опробование добавок при спекании смесей известняк-липарит.....	50
<b>Гаева Н.М., Смирнова О.В., Рудой В.М., Останин Н.И.</b> Снижение энергозатрат при электролитическом рафинировании меди.....	53
<b>Гиззатуллин Д.В.</b> Результаты физического моделирования выпрямительных агрегатов с векторным управлением на основе АИН с ШИМ.....	55
<b>Горемыкина П.Г., Павлова С.О., Картавцев С.В.</b> Оценка возможных энергоресурсосберегающих эффектов использования ВЭР сталеплавильного производства.....	58
<b>Гуменников А.А., Варфоломеева О.И., Хворенков Д.А.</b> Численное моделирование процесса разогрева мазута в резервуаре в программном комплексе FLOWVISION.....	59

<b>Дёмин Ю.К., Картавец С.В.</b> Исследование возможности использования потенциала окружающей среды для энергосбережения при производстве сжатого воздуха.....	62
<b>Дмитриев М.В., Стерхов В.А., Варфоломеева О.И., Попов Д.Н., Плотников Д.А., Хворенков Д.А.</b> Исследование водогазовой струи, расширяющейся в атмосферном воздухе.....	65
<b>Долганов А.А., Клюев Р.В.</b> Математическая модель определения предельного времени отключения короткого замыкания при исследовании динамической устойчивости высоконапорной ГЭС.....	68
<b>Ерошенко С.А., Карпенко А.А., Паздерин А.В.</b> Размещение источников распределенной генерации.....	71
<b>Завьялов А., Велькин В.И.</b> Усовершенствование светодиодной лампы на основе отечественной элементной базы.....	74
<b>Запорожец Е.П., Омарова Е.С., Коробейщикова Д.С.</b> Исследование энергоэффективных способов управления компенсированными выпрямительными агрегатами электрического транспорта.....	77
<b>Иванкина Е.С., Ануфриев В.П., Силин В.Е.</b> Комплексное решение проблем энергоэффективности коммунальной инфраструктуры на примере Нижневартовского района ХМАО-ЮГРА.....	80
<b>Иванов Д.А., Сеничкин Б.К.</b> Разработка энергосберегающих режимов нагрева заготовок в щелевой печи.....	82
<b>Исангулова А.Б., Маркин Н.Е., Коняев А.Ю.</b> К расчету электродинамических сепараторов на базе линейных асинхронных двигателей.....	85
<b>Караваев Д.Е., Коровин Ю.В., Потапов В.Н., Костюнин В.В.</b> Усовершенствование вихревых аппаратов обеспечит дополнительную экономию топлива при сжигании.....	88
<b>Касимов Р.З., Попов Д.Н., Диденко В.Н.</b> Применение теплоаккумулирующих материалов с фазовыми переходами в технике.....	91
<b>Касимов Р.З., Попов Д.Н., Диденко В.Н.</b> Методика расчета фазовых переходов теплоаккумулирующего материала.....	93
<b>Кашина О.В., Немытова Д.А., Гулина С.А.</b> Анализ влияния параметров двухвального газогенератора на эффективные показатели ГТУ.....	96
<b>Козина Н.В., Кучеренко М.Н.</b> Направления энергосбережения при строительстве и эксплуатации сельскохозяйственных зданий	100
<b>Копытин П.А., Денисенко В.И.</b> К выбору конструкции стартера–генератора транспортного средства.....	102
<b>Копытин П.А., Носкова М.И., Денисенко В.И.</b> К оценке теплового состояния стартера–генератора транспортного средства.....	104
<b>Котляров И.И., Илышева М.А.</b> Анализ инвестиционной стратегии предприятия ОАО «Няганские энергетические ресурсы».....	106
<b>Кузнецов Е.П., Кучеренко М.Н.</b> Интенсивность процесса влагопереноса как показатель энергоэффективности хранения сочного растительного сырья.....	110
<b>Кузьмина Е.В., Самохин П.А., Тычкова О.С.</b> Исследование и разработка энергосберегающих симметричных компенсированных выпрямительных агрегатов для систем электроснабжения электрического транспорта.....	113
<b>Кычанов М.В., Лыткин В.В., Ягунов А.И., Денисенко В.И., Пластун А.Т.</b> К оценке ультразвукового способа пропитки обмоток машин переменного тока компандами с теплопроводящими наполнителями.....	116
<b>Лопатин И.Е., Пилипенко С.А., Косых М.И., Шипицын В.В.</b> Двухчастотное двухконтурное преобразовательное устройство для индукционного нагрева.....	119
<b>Луговых Г.А., Швыдкий В.С.</b> Использование информационно-моделирующей системы инъекции пылеугольного топлива доменной печи для экономии энергетических ресурсов.....	121
<b>Малова А.В., Кочева М.А.</b> Использование продуктов сгорания природного газа в промышленности.....	124
<b>Мамбетова А.Г., Картавец С.В.</b> Энергосбережение в процессах коксования.....	125

<b>Морданов С.В., Хомяков А.П.</b> Влияние конструкции перемешивающего устройства на энергоэффективность аппарата с мешалкой.....	127
<b>Мотыгулин А.Е.</b> О ступенчатом выпаривании легкокипящего компонента в горизонтальном затопленном кожухотрубном кипятильнике абсорбционного холодильного аппарата.....	130
<b>Мухачев Д. Н., Орлов П. А., Саранкина Е., Лягаева Л., Пирумян Н. М.</b> Применение аморфных магнитных сплавов – путь к энергосбережению.....	131
<b>Наумова С. В., Варфоломеева О.И.</b> Организация отопления и вентиляции крышной котельной при использовании теплоты вытяжного воздуха системы вентиляции жилого дома.....	134
<b>Неволин А.М., Плотников П.Н.</b> Теплогидравлический анализ работы теплообменного аппарата воздушного охлаждения.....	137
<b>Николаев А.Ю., Письмак В.Н., Лебедев В.А.</b> Энергоэффективность и особенности низкотемпературного электролиза алюминия.....	139
<b>Носкова М.И., Денисенко В.И.</b> Особенности конструкции вентильного двигателя кабины лифта.....	142
<b>Носкова М.И., Копытин П.А., Денисенко В.И.</b> Разработка методики теплового расчета вентильного двигателя кабины лифта.....	144
<b>Окулов Р.А., Калинин Н.С., Паршин В.С.</b> Определение наиболее результативного пути повышения энергоэффективности экономики.....	147
<b>Осипов А.Г.</b> Энергоэффективный выпрямительный агрегат с векторным регулированием выходных параметров.....	149
<b>Охорзина Е.С., Суворов Д.М.</b> Сравнительный анализ различных методов расчета показателей эффективности работы ТЭЦ.....	152
<b>Папченков А.И., Каграманов Ю.А., Муңц В.А.</b> Определение оптимальных условий пиролиза Березовского угля и расчет равновесного состава пиролизного газа.....	155
<b>Пастухов Т.Л., Хомяков А.П.</b> Пути совершенствования технологического и аппаратурного оформления процессов сушки.....	158
<b>Петин С.Н., Ключников А.Д.</b> Концепция интенсивного энергосбережения – научная стратегия для энергосбережения производственного комплекса в Российской Федерации.....	160
<b>Петухов Д.В., Веселков Е.А., Эфрос Е.И.</b> Применение газопаровых технологий для повышения эффективности комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.....	163
<b>Пирогов А.Н.</b> Энергетический дизайн в строительстве.....	166
<b>Плотников А.С., Гаева Н.М., Останин Н.И.</b> Исследование механизма влияния ПАВ на включение примесей в катодный осадок меди.....	169
<b>Плотников И.Г., Абрамович Б.Н.</b> Обеспечение бесперебойной работы электроустановок нефтегазодобывающих предприятий при пуске высоковольтных синхронных двигателей.....	171
<b>Пономарев В.Б., Пономарева А.В.</b> Влияние расходной концентрации на параметры процесса фракционирования порошков в каскадном аппарате с треугольными полками.....	173
<b>Ртищева А.С., Каишланов В.В., Прохоров А.В., Долгов А.С., Кочулимов А.</b> Исследование эффективности режима суточного регулирования теплопотребления в зданиях при использовании программного пакета TRNSYS.....	176
<b>Ртищева А. С., Тимерзанова А.М.</b> Исследование тепловых потерь здания на примере здания главного корпуса УлГТУ.....	178
<b>Самсонов Д.А.</b> К вопросу о контроле содержания пролетного пара в конденсатопроводах.....	180
<b>Сычев Ю.А.</b> Выбор структуры, основных параметров и места размещения активных систем коррекции формы кривых тока и напряжения в электрических сетях нефтепромыслов.....	181

<b>Тихонов А.Н., Морозов А.П.</b> Применение вихревой трубы для охлаждения и осушки воздуха при озонировании воды.....	183
<b>Трубицын К.В., Елфимов С.В., Архипов П.А.</b> Формирование кадрового резерва предприятий теплоэнергетики России. Роль высших учебных заведений.....	186
<b>Туканова Е.В., Лазуткина О.Р.</b> Энергоэффективные трубы.....	188
<b>Турьшева А.В., Абрамович Б.Н.</b> Энергоснабжение удаленных объектов нефтедобычи.....	189
<b>Феоктистов Д.В.</b> Экспериментальная оценка экстенсивного влияния тепловой энергии на процесс перегонки.....	191
<b>Хворенков Д.А., Варфоломеева О.И.</b> Численное исследование причин аварийного выхода из строя кирпичной дымовой трубы котельной в г. Вятские Поляны.....	194
<b>Чащина С.А.</b> Проблемы сравнения энергетических характеристик зданий в зарубежных стандартах.....	197
<b>Чекалкин С.М., Осипов П.В., Микула В.А.</b> К вопросу о стратегии преобразования систем теплоснабжения малых городов.....	198
<b>Черепанов М.Ю., Орлов П.А., Степанов Е.А., Гумирова А.Р., Пирумян Н.М.</b> Источник энергосберегающего освещения.....	201
<b>Чиркова Е.В., Кучеренко М.Н.</b> Снижение энергоемкости сельскохозяйственных зданий путем повышения надежности и эффективности ограждающих конструкций.....	204
<b>Чечушков Д.А., Шабалин С.А., Паниковская Т.Ю.</b> Влияние маржинального ценообразования на выравнивание графика нагрузки энергосистемы.....	206
<b>Чумаченко А.Ю., Сыропятов Е.А., Федорова С.В.</b> Лабораторный комплекс для обучения в области энергосбережения.....	209
<b>Щербинин К.А., Муц В.А.</b> Об инновационной методике расчета фактических тепловых потерь.....	210
<b>Щинова О.В., Ануфриева Е.И.</b> Усиление энергетического потенциала человека под влиянием музыки.....	213
<b>Юферев С.В., Макаров В.М., Ромашев Л.Н., Миляев М.А., Сычугов Е.М.</b> Многослойные наноструктуры с гигантским магниторезистивным эффектом и перспективы их применения в устройствах измерения магнитного поля и электрического тока...	215
<b>Юферев С.В., Макаров В.М., Соболев А.С.</b> Структурная схема автоматизированной установки термомагнитной обработки для улучшения параметров измерительных трансформаторов тока.....	217
<b>Яковлев В.А.</b> Усовершенствование методики расчёта щелевых газогорелочных устройств при помощи ЭВМ....	219

## РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

<b>Акулич Е.В., Боброва Ю.Р., Толстова Ю.И.</b> Снижение металлоёмкости систем дежурного отопления.....	222
<b>Акулова А.В., Мананкова Е.С., Детков Д.Г., Бокман Г.Ю., Власова С.Г.</b> Исследование возможности получения силикатных красок на основе жидкого калиевого стекла...	223
<b>Алиханова И.А.</b> Электрохимический метод формирования полислойных экранирующих покрытий на пластмассах.....	226
<b>Анкудинов А.В., Васильев Г.Л., Старгородцева Ю.В.</b> Проблемы освоения лесных ресурсов Урала.....	227
<b>Баклюк М.В., Пушкарева М.В., Гашкова В.И.</b> Изучение возможностей активации фторангидрита введением полугидрата сульфата кальция различного состава.....	229
<b>Барабанова Ю.А., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е.</b> Расчет энергетической составляющей использования ТБО.....	232

<b>Барашев Н.Р., Назаров С.Л., Коняев А.Ю.</b> Повышение производительности электродинамических сепараторов с помощью линейных индукторов с разбегающимися полями.....	234
<b>Бунькова Е.А., Станкевич В.С., Лыткин В.В., Мызгина Е.М., Коняев И.А.</b> Электродинамические сепараторы для извлечения мелкой фракции металлических включений из сыпучих смесей.....	237
<b>Валенцева Т.А., Аксенов В.И.</b> Обесфторивание производственных сточных вод ОАО «Галоген», г. Пермь.....	240
<b>Волкова Л.В., Капустин Ф.Л.</b> Влияние состава золы ТЭС на свойства тампонажного цемента.....	242
<b>Горшенин А.С., Щелоков А.И.</b> Особенности формирования многофакельного сжигания природного газа в топках теплогенераторов малой мощности.....	244
<b>Гребнева Д.А., Федорец Н.А., Иванова А.В., Михайлова Н.А.</b> Возможность получения строительного кирпича с повышенной механической прочностью.....	246
<b>Григорьева Е.А., Правдин Б.А., Демидов К.Н.</b> Использование техногенных отходов алюминиевого производства в черной металлургии.....	247
<b>Долматова Ю.А., Лисовая Г.К.</b> Влияние скорости и температуры теплоносителя на коэффициент массоотдачи в процессе сушки конверсионного карбоната кальция.....	249
<b>Ермолаев К.Д., Горинов О.И., Семин Е.С.</b> Анализ методов термической переработки твердых бытовых отходов.....	252
<b>Золотарева Е.Г., Глянченко В.Д., Седов Н.П.</b> Влияние модифицирования на характеристики активных углей в процессе подземного выщелачивания.....	253
<b>Зыбина Е.С., Уфимцев В.М., Капустин Ф.Л.</b> Влияние состава зол и режима сжигания угля на термическую активацию зол ТЭС.....	255
<b>Ибрагимова А.М., Аксенов В.И.</b> Использование отработанных солянокислых железосодержащих травильных стоков в процессе обезвоживания осадков биохимических очистных сооружений.....	258
<b>Камусин А.А., Пономарев В.Б.</b> Промышленные испытания классификатора для пневмокласификации шпата.....	260
<b>Капустин А.Ф., Ануфриева М.В., Семериков И.С.</b> Состав и свойства композиционного цемента с добавкой золошлаковой смеси ТЭС.....	262
<b>Климаев А.В., Павлович О.Н., Белоусова О.А.</b> Выбор основного оборудования для очистки сточных вод гальванического производства.....	263
<b>Козионова Ю.В., Васюцкая Я.О., Власова С.Г.</b> Исследование возможности использования отходов промышленности в производстве стеклянной декоративной плитки.....	265
<b>Козицына А.С., Баженова А.Л., Толкачева Л.Е.</b> Ресурсосбережение в процессе получения антисептика «ЭЛЕМСЕПТ».....	267
<b>Кременский П.В., Белоусова О.А., Павлович О.Н.</b> Возможности снижения объема отходов органических растворителей на установке окраски металлических деталей.....	268
<b>Крючкова К.В., Фетисов Б.А.</b> Каскадная печь в технологии цемента.....	270
<b>Малков А.В., Горинов О.И., Габитов Р.Н.</b> Исследование фильтрации газа в слое ТБО с переменной плотностью.....	273
<b>Малков А.В., Горинов О.И., Самышина О.В.</b> Исследование процесса пиролиза ТБО с целью определения его эффективной теплоты.....	274
<b>Мочалина Е.В., Золотарева Е.Г.</b> Энерго- и ресурсосбережение при модернизации очистных сооружений.....	275
<b>Медведева Д.С., Агеева Е.С., Герасимова Е.С., Васильев В.Г., Владимиров Е.В., Чистякова Т.С.</b> Сербетон – новый строительный материал.....	276



<b>Никитин М.Н.</b> Зависимость термодинамических параметров многокомпонентных теплоносителей от их состава.....	277
<b>Оглезнев А.Ю., Михайлова Н.А.</b> Исследование легкоплавкой глины для производства строительного кирпича.....	279
<b>Окулов Р.А., Калинин Н.С., Паршин В.С.</b> Исследование энергоемкости процесса волочения на примере производства заклепочной проволоки.....	280
<b>Пастухов М.В., Бутаков Д.Ю., Бутаков А.Ю., Первушин Н.Г.</b> Энерго- и ресурсосбережение в процессе переработки красных шламов глиноземного производства.....	284
<b>Пачин И.М., Павлович О.Н., Белоусова О.А.</b> Расчет технологических параметров процесса ректификации нафталиновой фракции каменноугольной смолы.....	286
<b>Пинигин В.В., Батухтин А.Г.</b> Проблемы обеспечения надежности и экологичности котельного оборудования ТЭС, связанные с применением цеолитов для снижения вредных выбросов при сжигании твердого топлива.....	288
<b>Плотников Е.В., Ахмадышина В.Р., Толкачева Л.Е.</b> Ресурсосбережение в процессе получения монокромата натрия.....	291
<b>Пономаренко А.А., Орешкова К.Е., Бердышева В.С., Урицкий С.В., Баклюк М.В., Пушкарёва М.В., Гашкова В.И.</b> Исследование процесса нейтрализации фторангидрита различного фракционного состава.....	292
<b>Серебренникова Е.С. Глянченко В.Д.</b> Ресурсосбережение в процессах коксования брикетов на несущей шихте.....	294
<b>Солодовникова Е.С. Павлович О.Н.</b> Ресурсосбережение в процессах переработки каменноугольной смолы.....	296
<b>Танасова О.В., Павлович О.Н.</b> Ресурсосберегающая технология переработки нефти.....	298
<b>Тарасова С.А., Дрикер Б.Н., Обожин А.Н., Обадин Д.Н.</b> Ингибиторы солеотложений и коррозии для высокоминерализованных вод.....	299
<b>Татаринова Т.В., Горбунов В.А.</b> Исследование точности задач нагрева с граничными условиями 1 рода в пакете ANSYS.....	302
<b>Толкачева А.С., Павлова И.А.</b> Гранодиорит и фельзит в производстве кислотоупоров.....	303
<b>Тропина О.А., Семенова С.В., Правдин Б.А.</b> Обоснование размера расчетной санитарно-защитной зоны промплощадки ФГУП «ПО «Уральский оптико-механический завод» по фактору шумового воздействия.....	304
<b>Турлова О.В., Солдатова В.В., Курсанина К.В., Алямовская И.С., Дариенко Н.Е.</b> Глинистое сырьё Уральского региона в керамической промышленности.....	307
<b>Уфимцев В.М., Коробейников Л.А., Толмачев А.Ю.</b> Облегченный бетон на базе сталеплавильных шлаков.....	308
<b>Федосеев С.В., Горбунов В.А.</b> Исследование фрактальных геометрических структур для описания слоя ТБО в пакете ANSYS FLUENT.....	311
<b>Храпов А., Гныра Д., Велькин В.И., Пахалюев В.М.</b> Экспериментальное исследование влияния эвольвентных завихрителей на вибрацию и эрозию трубопроводов с двухфазным потоком.....	312
<b>Цывунина А.А., Пономарев В. Б.</b> Выделение посторонних примесей из аморфного диоксида кремния методом пневматической классификации.....	315
<b>Чертаева А.О., Даринцева А.Б., Останина Т.Н.</b> Получение сверхтонких порошков цинка гальваностатическим электролизом.....	317
<b>Шабалтун К.П., Толстова Ю.И.</b> Технико-экономическое обоснование проектов реконструкции тепловых сетей.....	320

## **НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

**Андреева Т., Банных С.М., Велькин В.И.**

Технико-экономический анализ замены люминесцентного освещения на светодиодное с использованием солнечных ФЭП..... 322

**Аникин А.К.**

Цинк – перспективный материал солнечной энергетики..... 325

**Арбузова Е.В., Щеклеин С.Е.**

О влиянии регенерации тепла на энергетическую эффективность биогазовых технологий..... 327

**Бабушкин Н. А.**

Химический и газовый состав теплоносителя для Мутновской ГеоЭС..... 328

**Бабушкин Н. А.**

Исследование мощности паровой турбины на вторичном паре для Мутновской геотермальной электростанции..... 330

**Барabanова Ю.А., Владимирова Ю.А., Немихин Ю.Е.**

Использование метана на полигоне ТБО..... 332

**Белькова Ю.В., Соловьёва Е.С., Жиргалова Т.Б.**

Энергосбережение за счет использования ТБО и промышленных отходов в энергетике..... 333

**Бельский А.А., Абрамович Б.Н.**

Генераторные установки для повышения эффективности ветроэлектрических установок..... 337

**Берг И.А.**

Экспериментальная проверка возможности использования солнечной энергии в условиях Среднего Урала..... 339

**Бойкачёв Е.Д., Попов А.И.**

Твёрдооксидный топливный элемент – будущее распределённой энергетики в России..... 342

**Бушланов В.С., Немихин Ю.Е., Серкова Е.В., Щеклеин С.Е.**

Энергонеzависимый охранный комплекс..... 344

**Дурицкий М.В., Попов А.И.**

Парусные ветряки имеют место быть..... 345

**Житцова Д.А., Лебедева Е.А.**

Использование солнечной энергии в целях экономии ресурсов органического топлива..... 347

**Завьялов А.А., Банных С.М., Велькин В.И., Щеклеин С.Е.**

Светодиодное освещение энергоэффективного дома с системой «ФЭП-АККУМУЛЯТОР»..... 349

**Иконников И.С., Дубинин А.М., Тупоногов В.Г., Черепанова Е.В.**

Мини-ТЭЦ на базе двухзонного угольного газогенератора с псевдоожигенным слоем..... 351

**Карасева Ю.В., Шпилова М.Ю.**

Технологии получения и использования биогаза на предприятиях по производству и переработке сельскохозяйственной продукции..... 354

**Климова В.А.**

Атомная станция дальнего теплоснабжения на базе конверсии метана..... 357

**Козин А.А.**

Проектирование электроснабжения спортивно-оздоровительного комплекса «Непряхино» ЮУрГУ с использованием ветроэнергетических установок..... 359

**Коржавин С.А., Щеклеин С.Е.**

Метод экспериментального исследования процессов анаэробного спиртового брожения..... 362

**Крюков А.А.**

Использование осадков сточных вод для производства органического топлива..... 364

**Ляпкало А.С.**

О возможности повышения КПД солнечных батарей при воздействии на них наносекундными электромагнитными импульсами..... 366

**Макарова Д.Н., Волкова М.В., Советкин В.Л.**

Утилизация углекислого газа на основе жизнедеятельности хлореллы..... 369

**Малькова М.Г., Орлов П.А., Аникин А., Шулепов И., Пирумян Н.М.**

Молекулярные магнетики и их роль..... 370

**Мифтахова Ю.А., Петрова Н.А.**

Использование продукта метанового брожения в качестве теплоносителя..... 373

**Мяжкова И.М., Такиulina Т.Р., Щелканова М.С., Пантюхина М.И., Михайлова Н.А.**

Синтез новых твердых электролитов для химических источников тока..... 373

<b>Осипова Е.Ю., Попов А.И.</b>	
Гирляндная ВЭУ роторного типа.....	375
<b>Парёхина И.В., Муротьян Д.О., Сасин В.Я., Савченкова Н.М.</b>	
Возможности альтернативного применения насоса теплового действия в контуре геотермальной электростанции.....	376
<b>Плеханова Е.С.</b>	
Использование тепловых насосов с грунтовыми теплообменниками.....	379
<b>Поезжаев А., Велькин В.И., Щеклеин С.Е.</b>	
Потенциал использования сбросного тепла АЭС на основе нерегулируемых отборов.....	382
<b>Полежаев М.В., Попов А.И.</b>	
Малая гидроэнергетика – резервный энергетический ресурс Свердловской области.....	384
<b>Проников И.А., Попов А.И.</b>	
Двигатели Стирлинга в возобновляемой энергетике.....	387
<b>Пронин Н.В.</b>	
Основные направления повышения энергетической эффективности системы «ВЭУ-ПЛЭН».....	389
<b>Разживина М.А., Михайлишин Е.В.</b>	
Применение децентрализованного теплоснабжения и систем солнечного теплоснабжения в общественных зданиях.....	391
<b>Романов С.И.</b>	
Применение тепловых насосов в плавательном бассейне Южно-Уральского государственного университета.....	394
<b>Савельев Е.Г., Рохлецова Т.Л., Басин А.С.</b>	
Эффективное использование твёрдых бытовых отходов в системах теплоснабжения.....	396
<b>Семенов М.Ю., Ковин И.В., Ташлыков О.Л.</b>	
Анализ возможности утилизации низкопотенциальной теплоты с использованием теплового насоса в паротурбинном контуре АЭС с реактором на быстрых нейтронах.....	399
<b>Тимофеев В.М., Станилевич М.А., Щеклеин С.Е.</b>	
ВЭУ с наклонными ленточно-винтовыми ветророторами.....	402
<b>Токарева Ю.А.</b>	
Применение отходов деревообработки для получения генераторного газа.....	404
<b>Усова Г.И., Силин В.Е., Рыжков А.Ф.</b>	
Использование местного топлива для энергообеспечения поселка.....	408
<b>Филь Н.С.</b>	
Применение ветро-солнечной установки для теплоснабжения в условиях Южного Урала.....	411
<b>Холмаков А.А., Щеклеин С.Е.</b>	
Энергетическая эффективность производства сырья для топливного этанола.....	413
<b>Чащина С.А.</b>	
Мероприятия по повышению эффективности работы биогазовой установки.....	416
<b>Чернов Д.А., Горский С.П., Велькин В.И., Щеклеин С.Е.</b>	
Перспективы использования солнечной энергии для транспортной установки дирижабля.....	418
<b>Четошников С.А.</b>	
Расчет фотоэлектрической системы для загородного дома.....	421
<b>Яковлев А.О., Велькин В.И., Щеклеин С.Е., Тягунов Г.В.</b>	
Грунтовый тепловой насос для удаленного дома.....	423
<b>Яковлева Э.В., Абрамович Б.Н.</b>	
Солнечная электростанция в системе энергоснабжения геологоразведочных работ.....	427
<b>Ранченкова Е.И., Бирюзова Е.А.</b>	
Повышение энергоэффективности тепловой сети за счет применения современной тепловой изоляции.....	428

#### Принятые сокращения

УрФУ	–	ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» или Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург
РГППУ	–	ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет», г. Екатеринбург
ГОУ ВПО «СПбГАСУ»	–	ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург
МГТУ им. Г.И. Носова	–	ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск

*Научное издание*

ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ.  
НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Редакторы *В.Ю. Балдин, И.С. Селезнева*

Компьютерная верстка *Г.Н. Мизгулиной*

Некоторые статьи печатаются в авторской редакции

---

Подписано в печать 18.11.10.

Бумага писчая

Тираж 180

Офсетная печать

Формат 60x84 1/16

Заказ 457

Цена «С»

---

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Ризография НИЧ УрФУ  
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19